

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Výroba vidlice řízení technologií zápustkového kování

Production Fork of Leg by Drop Forging Technology

Student:

Bc. Tomáš Brumar

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Stanislav Rusz, CSc.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Brumar**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Výroba vidlice řízení technologií zápusťkového kování**
Production Fork of Leg by Drop Forging Technology

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte rešerši současného stavu kování vidlice řízení. Definujte technologické problémy procesu kování.
- 2) Proveďte simulaci procesu zápusťkového kování zadané součásti. Stanovte deformačně-napěťový stav u jednotlivých kovacích operací.
- 3) Navrhněte technologický postup kování vidlice. Proveďte výpočet celkové kovací síly. Navrhněte kovací lis.
- 4) Proveďte srovnání výsledků dosažených simulacemi kovacího procesu s výsledky dosaženými experimenty.
- 5) Proveďte hodnocení potřeby zavedení výroby vidlice řízení z hlediska ekonomických přínosů v podniku.
- 6) Proveďte celkové vyhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ALTAN, T. et al. *Metal forming Fundamentals and Applications*. ASM Series in Metal Processing, Metals Park, 1983. pp. 353. ISBN 978-0871701671.
- 2) BRJUCHANOV, A. N.; REBELSKIJ, A. V. *Zápusťkové kování, díl I*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. 248 s.
- 3) HAŠEK, V. a kol. *Kování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 732 s.
- 4) HRUBÝ, J.; RUSZ, S.; ČADA, R. *Strojírenské tváření*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2006, 2. vyd. 152 s. ISBN 80-248-1218-5.
- 5) KOBAYASHI, S. et al. *Metal Forming and the Finite Element Method*. USA: Oxford University Press, 1989. pp. 402. ISBN 0-19-504402-9.
- 6) SOMMER, B. *Technologie kování*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1965. 200 s.
- 7) STOROŽEV, M. V. and POPOV, J. A. *Teória tvárnenia kovov*. Bratislava: ALFA, 1978. 488 s.
- 8) *Simufact Forming*, [on-line]. Dostupné z: http://www.simufact.de/en/solutions/sol_form.html

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

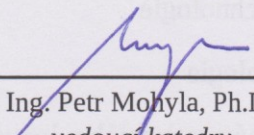
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusz, CSc.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Roman Sosna

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

9.5 2014

Tomáš Bunc

Podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

9.5 2014

Tomáš Brumar

Tomáš Brumar
Václava III č. 16, Olomouc

Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BRUMAR, T. *Výroba vidlice řízení technologií zápusťkového kování: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 71 s. Vedoucí práce: Ruzs, S.

V diplomové práci se zabývám návrhem tvaru dutin zápusťek pro výrobu vidlice řízení ve firmě Taforge a.s. s využitím matematické simulace na principu metody konečných prvků. Dále pak návrhem technologického postupu výroby součásti.

V první části je zpracována rešerše zápusťkového kování. Návrh součásti podle evropských norem pro zápusťkové kování. V následné kapitole jsou pomocí simulace ověřeny a vyhodnoceny deformačně napěťové stavy u kování součásti na klikovém lise. Dále jsou v diplomové práci popsány technologické a konstrukční problémy, které se vyskytly u výroby součásti a jejich řešení. Na závěr jsou vyhodnocené údaje ze simulací srovnány se samotnou výrobou. Je provedeno ekonomické zhodnocení zavedení výkovku do výroby.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BRUMAR, T. *Production fork of leg by drop forging technology: master thesis*. Ostrava: VSB-Technical university of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Department of mechanical technology, 2014, 71 p. Supervisor: Ruzs, S.

In this thesis deals with the design of the shape of the cavities dies for the production fork of leg in the company Taforge a.s. with using mathematical simulations on the Finite Element Method. Furthermore, the design of technological process components.

In the first part, information retrieval die forging. Design of components according to European standards for die forging. In a subsequent chapter by simulation verification and assessment of stress-strain states in forging components to crank press. Furthermore, the thesis describes the technological and design problems encountered in the manufacture of components and solutions. At the end of the evaluated data from the simulations were compared with the production. It made economic evaluation of the implementation of the forging production.

Seznam použitých značení a zkratek

B	šířka otřepu	[mm ³]
B _s	střední šířka výkovku	[mm]
D _p	průměr dosedací části prstencového vyhazovače	[mm]
d _p	průměr otvoru pro prstencový vyhazovač	[mm]
D _{pt}	průměr otvoru pro dosedací část před kovacího trnu	[mm]
d _{pt}	průměr otvoru pro před kovací trn	[mm]
D _{red}	redukovaný průměr výkovku (pro nekruhové výkovky)	[mm]
D _t	roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek	[mm]
d _v	průměr otvoru pro vyrážecí kolík	[mm]
D _v	průměr výkovku bez výronku	[mm]
ε	Intenzita deformace	[-]
f	koeficient tření	[-]
F	síla tvářecí	[N]
f	šířka osazení výkovku	[mm]
F _c	celková střížná síla	[N]
F _d	síla pro děrování výkovku	[N]
FEM	finite element method	
F _v	síla pro ostřížení výkovku	[N]
FVM	finite volume method	
h	hloubka dutiny výkovku	[mm]

H	největší výška ve směru rázu	[mm]
h	výška můstku	[mm]
h_b	výška můstku blány	[mm]
k_M	stupeň využití materiálu	[-]
L_p	délka polotovaru	[mm]
$L_{\dot{R}}$	šířka řezu	[mm]
L_T	délka jedné tyče	[mm]
L_v	největší rozměr výkovku v půdoryse	[mm]
m	hmotnost	[Kg]
MKO	metoda konečných objemů	
MKP	metoda konečných prvků	
n_p	počet přířezů z jedné tyče	[ks]
N_p	podíl náradí na jednom kuse	[Kč/ks]
n_{rv}	počet kusů za rok	[ks/rok]
n_t	počet tyčí pro celou sérii	[ks]
N_{TS}	koeficient vlivu tvarové složitosti	[-]
n_{vp}	výroba jednoho výkovku s polotovaru	[Ks]
o	obvod výkovku v půdoryse	[mm]
O	opal	[%]
o_b	obvod blány	[mm]

P_m	cena materiálu	[Kč/kg]
P_{MN}	přímé náklady na materiál	[Kč]
P_{MNK}	náklady na materiál pro jeden kus výrobku	[Kč]
Q_{ODP}	hmotnost a cena kovového odpadu	[kg]
Q_{SP}	spotřební váha polotovaru	[kg]
Q_T	hmotnost jedné tyče	[kg]
Q_v	čistá hmotnost výkovku	[kg]
R	Zaoblení hran a přechodů	[mm]
R_m	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
s	tloušťka blány	[mm]
S	ukazatel členitosti výkovku	[-]
S_v	plocha průměru výkovku bez výronku	[mm ²]
$S_{výr}$	plocha průmětu výkovku včetně výronku	[mm ²]
t	teplota nástrojů	[°C]
V_{id}	objem ideálního předkovku	[mm ³]
$V_{výk}$	objem výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	objem výronku	[mm ³]
α	tuhý roztok uhlíku ve fázi alfa	[hm.%]
γ	tuhý roztok uhlíku ve fázi gama	[hm.%]
σ_p	přirozený přetvárný odpor	[MPa]
$\sigma_p(k_p)$	přirozený přetvárný odpor	[MPa]

Obsah

Anotace diplomové práce	7
Seznam použitých značení a zkratk	8
Úvod.....	13
1. Zápustkové kování	14
1.1. Tvářecí stroje	15
1.2. Tepelné podmínky kování	16
1.3. Mazání zápustek	19
1.4. Materiál zápustek.....	20
1.5. Výroba a oprava zápustek	21
1.6. Druhy vyhazovačů pro lisu	21
1.7. Výronková drážka	24
2. Kovárenské přídavky pro zápustkové výkovky	25
2.1. Stanovení přídávků na obrábění	25
2.2. Stanovení technologických přídávků	26
2.3. Stanovení dovolených rozměrových a tvarových úchylek	27
3. Technologický postup výroby	30
3.1. Materiál výkovku.....	31
3.2. Materiál zápustky	32
3.3. Výkres výkovku.....	33
3.4. Volba dělicí roviny	33
3.5. Stanovení mezních úchylek výkovku	34
3.6. Výpočet objemu výchozího materiálu	35
3.7. Stanovení kovací síly	36
3.8. Stanovení kovacího stroje.....	41

3.9. Stanovení tvaru a velikosti výronkové drážky	42
3.10. Stanovení tvaru a velikosti blány	43
3.11. Volba typu vyhazovače	44
3.12. Volba ostřihovacího zařízení	44
3.13. Volba potřebného sledu operací	46
4. Matematická Simulace zápusťkového kování	47
4.1. Simulace vidlice řízení	47
4.2. Zjištění optimálního průřezu a ustavení polotovaru	48
4.3. Simulace metodou konečných prvků	50
4.4. Simulace metodou konečných objemů	52
4.5. Porovnání výsledků simulace MKP a MKO	54
5. Současný stav řešení dílce	55
5.1. Zkušební série	55
5.2. Vzorková série	57
6. Porovnání výsledků	59
7. Ekonomické hodnocení zavedení vidlice řízení do výroby	62
8. Závěr	66
Seznam použité literatury	69
Seznam příloh	71

ÚVOD

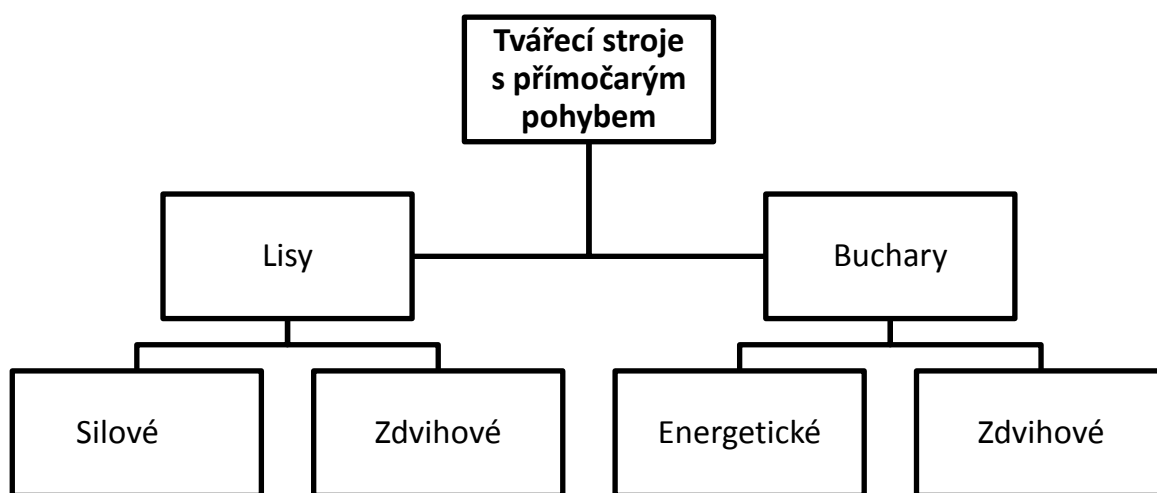
Kování jako jedna z nejstarších technologií výroby strojních součástí, je i v současné době stále nenahraditelnou, díky úspoře materiálu při hromadné výrobě, ale hlavně pro získání výkovků s velice příznivými mechanickými vlastnostmi tolik důležitými pro strojní součásti, především se jedná o technologii zápustkového kování. Výroba probíhá bez větších technických změn na kovacíh strojích typu bucharu nebo mechanického lisu, v současnosti jsou již v mnoha případech stroje vybaveny linkami pro přesun materiálu nebo poloautomatickými nebo automatickými manipulátory, které zefektivňují práci a umožní kování objemnějších výkovků. V české republice má kovárenství dlouholetou tradici, a sídlí zde několik velkých kováren disponujících širokým strojním parkem, s kterým jsou schopné konkurovat na evropském trhu především v automobilovém a vlakovém průmyslu. Jednou z těchto firem je Taforge a.s, dceřiná společnost automobilky Tatra Trucks. Firma díky mnoholetým zkušenostem s kovááním automobilových dílců získává stále více zakázek na zápustkovou výrobu tvarově členitých dílců. V dobách před možností využití softwarů pro modelování a následnou simulaci kovacího procesu se musely při konstrukci výkovku provádět tzv. kovací zkoušky, na které bylo využito spousty materiálu v závislosti na výskytu konstrukčních či technologických problémů. Pro získání co největší efektivity při navrhování a konstrukci se v současnosti využívá softwarů pro modelování výrobního nářadí a výkovků, ale především softwaru na principu metody konečných prvků či konečných objemů, který modeluje kovací proces a hodnoty z něj získané slouží pro vyhodnocení správnosti navržených tvarů dutin zápustek, polotovaru či samotného výkovku. Kovací zkoušky však úplně nezmizely, stále jsou nedílnou součástí při zavádění nového dílce do výroby. Množství zkoušek se však zmenšilo o 50 – 70 % v závislosti na složitosti výkovku. Tyto softwarové vylepšení dále zvýšily úsporu materiálu u zápustkového kování, i tím si zápustkové kování udrží svoji nepostradatelnost i v dalších desetiletích.

1. ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Jedná se o metodu objemového tváření materiálu nejčastěji za tepla. Tečení materiálu je zde omezoáno tvarem nástroje tzv. zápustky. Kování probíhá na dvě a více tvářecích operací čímž dosáhneme postupným přetvářením materiálu potřebného finálního tvaru polotovaru. Tato metoda zajišťuje nepřerušeni vlákná daného polotovaru a průběh vláken materiálu kopíruje tvar výkovku. Tím se dosahuje vyšších mechanických vlastností, oproti ostatním technologiím jako je obrábění, kde je materiál rozrušován řezným klínem, nebo při technologii slévání kde se díky tlakovému lití může dosáhnout vysokých mechanických vlastností materiálu, které však nepřevyšují vlastnosti po kovacím procesu. Materiál, který je zahřát na kovací teplotu se vkládá do dutiny zápustky a přetvářen pomocí rázů u bucharu nebo pomocí tlaku u kovacího lisu. Zápustka se skládá s horní a dolní části, které dohromady tvoří tvar konečného výkovku, přičemž horní část koná svislý kovací pohyb. Výjimku tvoří protiběžné buchary, kde kovací pohyb konají oba nástroje proti sobě. Součástí většiny zápustek u kovacích lisů jsou takzvané vyrážecí, které kopírují tvar zápustky a slouží k vyrazení výkovku s dutiny zápustky. Zápustky se používají uzavřené či otevřené, méně používaná metoda uzavřených zápustek je však omezena tvarovou složitostí výkovku a dovolenými úchylnkami počátečního polotovaru. Nejčastější metodou tak zůstává zápustkové kování za tepla v otevřených zápustkách. Metoda zápustkového kování se vyznačuje vytvořením výronku na každém výkovku, ten je nedílnou součástí při návrhu výkovku a zápustek. Výronek je pro kovací operaci nezbytný tím, že před dosednutím zápustek vytvoří odpor proti tečení materiálu, který zajistí úplné zaplnění dokončovaci zápustky, dále eliminuje kolísání objemu výchozího polotovaru a má funkci tlumiče rázů mezi zápustkami. Zápustkové kování se využívá především při velkosériové a hromadné výrobě, kde zajišťuje vysokou hospodárnost a úsporu materiálu nebo při potřebě výroby strojních součástí s požadovanými mechanickými vlastnostmi, kterými se zápustkové kování vyznačuje. [7]

1.1. Tvářecí stroje

Silový tvářecí stroj používá k překonání deformačního odporu energii potenciální. Základním parametrem je síla F na beranu. Rychlost beranu menší než $0,25 \text{ m.s}^{-1}$. Energetický tvářecí stroj používá převážně energii kinetickou rychlost beranu větší než 5 m.s^{-1} [10]



Obr. 1 Dělení tvářecích strojů s přímočarým pohybem nástroje podle hlavní formy využití energie [10]

1.1.1. Buchary

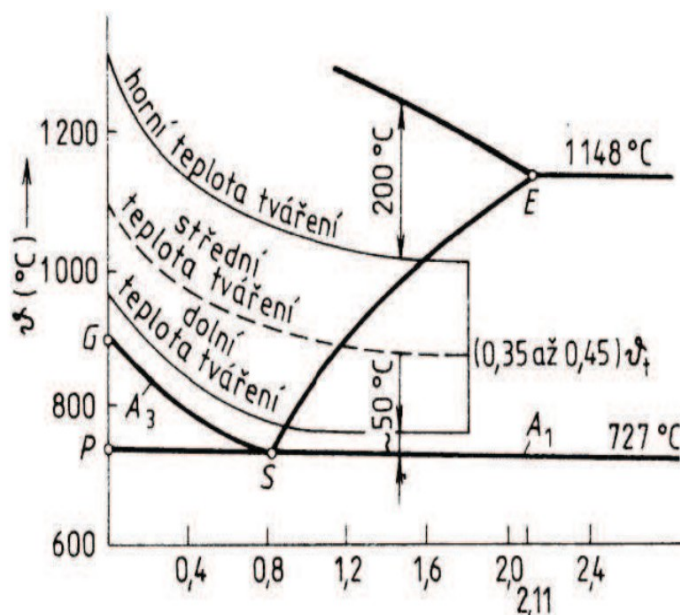
Rozdíl mezi buchary pro zápusťkové kování a pro volné kování je, že mají stojan připevněný k šabotě. Šabota u volných kovacíh strojů je samostatně uložena a oddělena od stojanu. V zápusťkových kovárnách se používají buchary padací, parovzdušné dvojčinné a protiběžné. Buchary jsou vhodné pro takové operace, kdy je potřeba kovat výškově členité a dlouhé ohýbané výkovky jako jsou například zalomené hřídele, protože tečení materiálu v dutině zápusťky je vzhledem k padací rychlosti beranu lepší než u lisů. Buchary jsou neustále nedílnou součástí zápusťkových kováren, z důvodu, že lisy jsou více omezeny velikostí zápusťky a tím i rozměry výkovků. [2]

1.1.2. Mechanické klikové lisy

Kování u lisů probíhá v několika dutinových zápustkách, které jsou většinou opatřeny vodicími sloupky. U lisů se většinou jedná o polo automatizovanou nebo plně automatizovanou linku složenou s ohřívací pecí, tvářecího zařízení a stroje na ostřížení výronku, v některých případech je zařazen přímo na kovací stroj. Díky klidnému chodu lisu oproti bucharům je zajištěno přesné vedení zápustek proti sobě což dovoluje vyrábět přesnější výkovky s menšími úkoly. Ve většině případů se používají k vyjmutí výkovku ze zápustky vyrážecí. U bucharů závisí nedokování (nevyběhnutí) materiálu na kvalifikaci kováře, je podmíněna počtem a silou úderu bucharu. U mechanických lisů je zajištěn stálým zdvihem smykadla lisu a tuhostí ve směru tváření. Svou konstrukcí a hospodárností jsou lisy vhodné pro velkosériovou výrobu součástí s vysokou přesností, která je vyžadována například v automobilovém průmyslu. [3]

1.2. Tepelné podmínky kování

Pro dosažení správné tvárnosti materiálu je potřeba zajistit dodržení správné kovací teploty, ta se vždy pohybuje v rozmezí, které je stanoveno pro každý materiál dle jeho chemického složení. Kování se provádí zpravidla při nejvyšších přípustných kovacích teplotách. Se zvyšováním teploty u materiálu klesá jeho deformační odpor, díky tomu se snižují kovací časy potřebné pro přetvoření materiálu. Snížení deformačního odporu má příznivý vliv na životnost zápustek a zatížení stroje. Kovací teploty u zápustkových výkovků jsou vyšší než u volného kování. Horní kovací teplota u ocelí leží 200 – 300 °C pod teplotou solidu, spodní hranice je dána přeměnou fází γ a α . Při zahřívání polotovaru dochází k tepelné dilataci, s touto se musí při kování a navrhování rozměru zápustek počítat.



Obr. 2 Kovací teploty [12]

1.2.1. Doba ohřevu

Ohřívací teplota závisí na tloušťce a chemickém složení materiálu. Pro každý materiál je dána určitá maximální teplota, na kterou může být bez nebezpečí zahřát. Uhlíkové oceli s nízkým obsahem uhlíku lze ohřívat rychleji než oceli legované. K hrubému určení doby ohřevu materiálu se v praxi používá ověřených empirických údajů, jako například k určení ohřevu v závislosti na tloušťce lze použít těchto údajů:

Tloušťka materiálu < 30 mm.....3 až 4 min/cm

Tloušťka materiálu < 65 mm.....6 až 8 min/cm

Tloušťka materiálu < 130 mm.....až 12 min/cm

Tyto hodnoty platí pro materiál uložený v peci v jedné vrstvě, při uložení ve dvou je nutno počítat o 50% delším časem ohřevu. [4]

1.2.2. Předehřev zápustek

Vysokolegované nástrojové oceli pro zápustky, především wolframové mají po tepelném zpracování nízkou houževnatost. Nejen proto nutné tyto před kovááním předehřívát. Teplota předehřevu se pohybuje v rozmezí 200° - 300° C, nutnost použití roste s členitostí a množstvím ostrých hran a přechodů zápustkové dutiny. Následkem nedodržení ohřevu je vysoké opotřebení zápustky nebo také prasknutí. Předehřev se provádí před započetím každého kováání, při výměně směn nebo při malé frekvenci kováacího cyklu. Nemalý význam má také snížení teplotního gradientu mezi jádrem zápustky a povrchem dutiny. Snižují se tepelná pnutí nástroje, zpomaluje se ochlazování předehřátého výkovku v dutinách. [4]

1.2.3. Zařízení na ohřev materiálu

Pro ohřev materiálu se v současnosti využívá plynových či elektrických pecí. U elektrického ohřevu se jedná o indukční pece. Pro ohřev v zápustkových kováárnách je možno použít těchto konstrukčních typů pecí:

1. Karuselová
2. Talířová
3. Komorová průchozí
4. Komorová
5. Štěrbínová

1.3. Mazání zápustek

Nezbytným předpokladem pro zajištění vysoké životnosti nástrojů a snadné vyjímání výkovků se zápustek je jejich mazání při kovacím procesu. Nízký koeficient tření mezi nástrojem a výkovkem zajišťuje nízký odpor materiálu zápustek proti tečení kovu do dutiny a snižuje tak vzniklé síly. Základním požadavkem kladeným na mazací média je, že se nesmí rozkládat vlivem provozních teplot a tlaků a musí si udržet stálou viskozitu. Při kování se nesmí vytvářet tuhé zbytky maziva, tyto by zůstávali v dutině a zabraňovali by dokování materiálu, popřípadě se zakovaly do materiálu. Maziva používané v zápustkovém kování se dělí na:

1. Tuhá maziva
 - a) Dispergovaná v oleji
 - b) Dispergovaná ve vodě
2. Kapalinná maziva
 - a) Minerální a organické oleje
 - b) Emulgační oleje
 - c) Syntetické látky
3. Konzistentní maziva – mazlavá mýdla a mazací tuky
4. Piliny
5. Soli (NaCl , Na_2CO_3 ,)
6. Sklo

1.3.1. Tuhá maziva dispergované ve vodě

Nejpoužívanější metodou mazání zápustek je směsí grafitu dispergovaného ve vodě. A to z důvodů jednoduché aplikace suspenze pomocí ofukovací pistole, ale také ceny tohoto mazacího média. Koloidní či polo koloidní grafit má velmi dobré vlastnosti, to je dáno jeho krystalickou stavbou, tedy šesterečnou mřížkou. Grafit má také velmi dobrou přilnavost a tvoří rovnoměrný mazací film na povrchu zápustky, díky koloidní struktuře vzniká do pórovitého materiálu a dosahuje velmi dobré přilnavosti. Grafit má velmi velkou termickou stabilitu.

1.4. Materiál zápustek

Zápustky jsou vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, proto jsou na materiál zápustek kladeny požadavky jako vysoká pevnost a houževnatost v celém rozsahu kováčích teplot, vysoká otěruvzdornost. Dále nízká teplotní roztažnost, dobrá prokalitelnost. Dobrá obrobitelnost oceli a především se klade důraz na cenu, proto se odolnější materiály volí v závislosti na druhu stroje, velikosti zápustky a hlavně velikosti série. Při použití vysokolegovaných ocelí, se značně zvýší cena výkovku, ale u větších sérií se cena zápustky vykompenzuje menšími náklady na její opravy. Pro zápustky se používají tyto nástrojové oceli:

- a) Wolframové
- b) chrom molybdenové
- c) niklové
- d) chromové
- e) uhlíkové

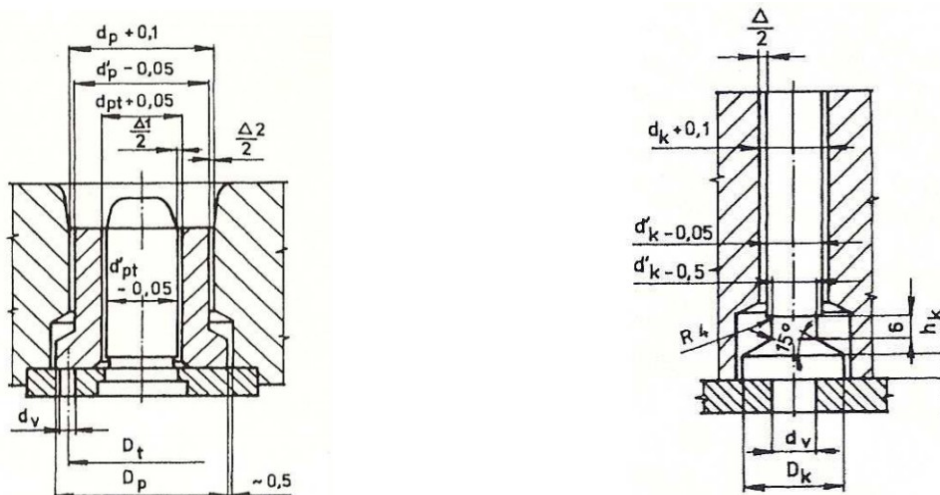
1.5. Výroba a oprava zápustek

Nástroje pro kování jsou je možno vyrábět tvářením, odléváním nejčastěji však obráběním. Tvářením zápustek se v současné době jeví jako cenově neefektivní, odlévání je cenově přijatelnější, ale odlévané zápustky nemusí splňovat potřebné mechanické vlastnosti, také je zde větší pravděpodobnost náchylnosti k prasknutí. Proto nejvíce využívanou metodou je obrábění, které je v mnoha případech plně automatizované. To zajišťuje velice přesnou výrobu dutin u vysoce pevných a odolných materiálů i následné opravy již tepelně zpracovaných zápustek. Samotná metoda obrábění, se používá pro opravy zápustkových nástrojů, v případě úpravy zápustky na větší hodnoty dutiny. Pro doplnění dutiny po opotřebení se využívá svařovací metody MIG/MAG tzv. navařování a následné obrábění na daný rozměr. [17]

1.6. Druhy vyhazovačů pro lisy

U kování na lisech nemají zpravidla výkovky tak velké úkoso, tudíž se samočinně neoddělují od zápustek. K tomuto účelu se v zápustkách konstruuje dutiny pro tzv. vyhazovače. Ty slouží k vyrazení výkovku z pravidla ze spodní části dutiny zápustky. Vyrážecí ústrojí je spojeno s mechanickou částí stroje uloženého ve spodní části lisu. Při zdvihu zápustky do horní úvratí se vyhazovač vysune do maximální výšky a tím umožní obsluze vyjmout výkovek a přesunout ho do další operace. Při kovací operaci vyhazovač zasune zpět do dutiny zápustky a kopíruje její tvar. U mechanických lisů rozlišujeme tři druhy vyhazovačů [17]:

- 1) Prstencové
- 2) Kolíkové
- 3) Vložkové (méně používané)



Obr. 3 Prstencový a kolíkový vyhazovač

1.6.1. Prstencové vyhazovače

Slouží pro výkovky s dutinou ve středu výkovku. Podle normy ČSN 22 8306 se rozměry prstencového vyrážače vypočítají [19]:

Předkovací trn:

$$\frac{d_{pt}^2}{D_{pt}^2} \leq 0,85 \quad (1.1)$$

Průměr prstence D_p potom musí vyhovovat:

$$D_p \geq d_p + 5 \text{ [mm]} \quad (1.2)$$

$$D_p \geq D_t + d_v + 5 \text{ [mm]} \quad (1.3)$$

1.6.2. Kolíkové vyhazovače

Provedení kolíkových vyhazovačů je středové, mimo středové nebo umístěné v ploše výronku tudíž působí na blány či výronky výkovků, což je příznivé pro nezanechávání stop po vyražení na finálním výkovku. Rozměry se zvolí dle:

$$D_k = \sqrt{2 \cdot d_k^2 + d_v} \text{ [mm]} \quad (1.4)$$

d_{pt} – průměr otvoru pro předkovací trn [mm]

D_{pt} – průměr otvoru pro dosedací část předkovacího trnu [mm]

D_p – průměr dosedací části prstencového vyhazovače [mm]

d_p – průměr otvoru pro prstencový vyhazovač [mm]

D_t – roztečný průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek [mm]

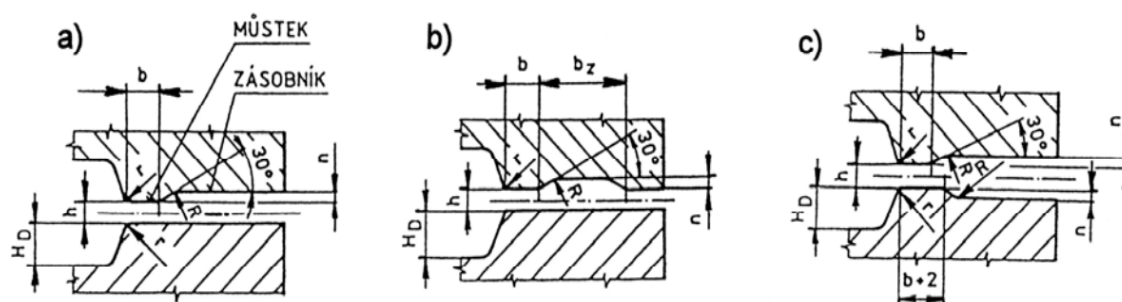
d_v – průměr otvoru pro vyrážecí kolík [mm]

1.6.3. Vložkový vyhazovač

Pro vyhazování se používají vložky nebo předkovací trny. Používají se u výkovků, které mají blánu posunutou do spodní části. Používají se, v případech kdy je vložka příliš zeslabená, důsledkem vyhazovacího kolíku.

1.7. Výronková drážka

Při kování na bucharech a lisech se používají tři druhy výronkových drážek, které se od sebe liší konstrukcí. Výronkové drážky u bucharů mají uzavřený tvar, protože horní a spodní díl zápustky dosedá přímo na sebe. Naproti tomu u lisů nesmí dojít ke styku zápustek, z toho důvodu zde slouží výronek jako dosedací plocha. Tím se zabrání rázům, které by mohli poškodit klikový mechanismus stroje. Při prvním kování se nastavuje vyšší výška dosednutí zápustky (vyšší výronek) a stroj se na danou výšku následně kalibruje. Výronková drážka pro mechanický lis prvního typu (Obr.3a) je nejběžnějším typem, druhý typ (obr.3b) se liší tím, že má uzavřený zásobník, tento se používá při větší vzdálenosti můstku od okraje dutiny. Třetí typ (obr.3c) výronkové drážky se používá při předpokladu tečení většího množství materiálu do výronku. [3]



Obr. 4 Základní typy výronkových drážek pro mechanické lisy [18]

Materiál stlačovaný na několik zdvihů v zápustce může mít tendenci téct směrem do výronkové drážky a nezaplňovat požadovaný tvar dutiny zápustky, tomuto jevu zabraňuje správná konstrukce předkovacích dutin. Tečení materiálu zpomaluje také můstek, pokud však i po těchto úpravách dochází k nedokování materiálu v zápustkách a materiál teče do výronku, vytváří se na můstku zuby, které zpomalí tečení. Tím že vytvoří protitlak před vstupem do zásobníku a materiál začne mít tendenci vyplňovat dutinu s menším odporem proti tečení.

2. KOVÁRENSKÉ PŘÍDAVKY PRO ZÁPUSTKOVÉ VÝKOVKY

Přídavky a úchytky rozměrů a tvarů pro zápusťkové výkovky se určují podle normy ČSN 42 9230 z roku 8/1987 (dříve norma 42 0277 z r. 6/1960). Norma platí pro výkovky z konstrukčních ocelí tříd 10 až 16, s výjimkou uhlíkových ocelí, které obsahují více než 0,9 % C a s výjimkou slitinových ocelí s obsahem nad 0,6% C a s celkovým obsahem uhlíku přes 4%. U zápusťkových výkovků dělíme přídavky na obrábění a technologické. [15]

2.1. Stanovení přídavků na obrábění

Přídavek, který se vnáší na funkční plochy, které mají být obráběny, jejich velikost se určuje dle ČSN 42 9230. Velikosti přídavků jsou pro všechny velikosti rozměrů stejné a určují se podle největšího rozměru hotového výkovku kolmo k rázu a největší výšky. U nerotačních rozměrů je největší rozměr výrobku dán střední hodnotou největší šířky a délky. Přídavky jsou definovány pro rozměry průměrů, proto u nerotačních je potřeba hodnoty zdvojnásobit. [18]

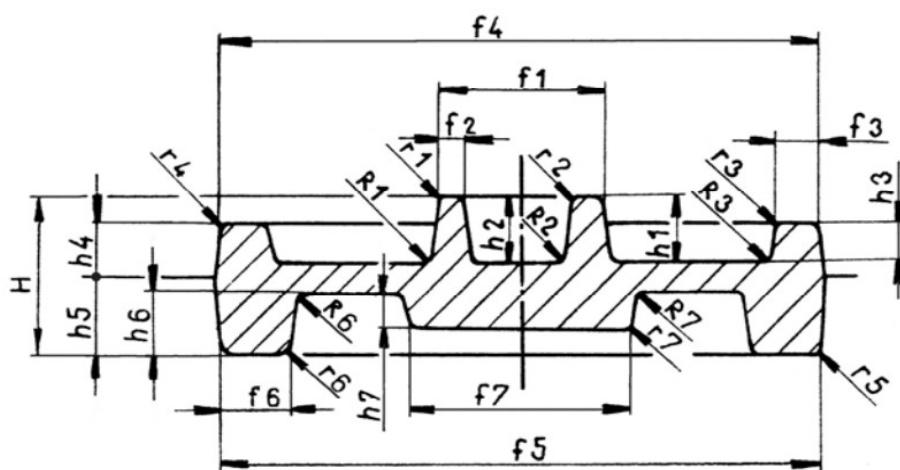
Přídavky jsou rozlišovány dle:

- a) pro obvyklé provedení 1
- b) pro přesné provedení 2
- c) pro velmi přesné provedení 3

2.2. Stanovení technologických přídavků

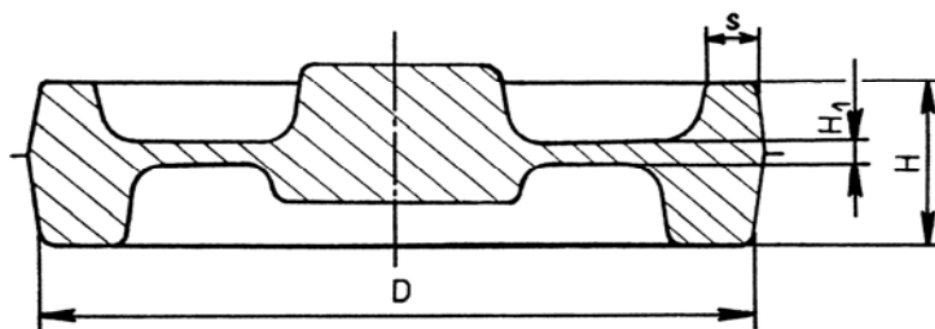
Jedná se o přídávky, kterými se doplňuje tvar výkovku na výrobitelný danou technologií a to z hlediska tečení materiálu a jeho zatékáním do všech dutin tak vyjímání z dutin zápustky. Při konstrukci výkovku se musí přihlížet k těmto mezním hodnotám tvarových prvků: [18]

- a) zaoblení hran a přechodů
- b) tloušťka dna, blány výkovku
- c) tloušťka stěny výkovku
- d) boční úkosy



Obr. 5 Zaoblení hran a přechodů R výkovku (H - největší výška ve směru rázu, h - hloubka dutiny výkovku, f - šířka osazení výkovku)[18]

Při návrhu je třeba volit dle normy správnou velikost blány H_1 , stěny výkovku s . Příliš tenká blána může způsobit nedotečení materiálu a při volbě velké blány dochází ke značné ztrátě materiálu při prostřihování či děrování a také k přetěžování stroje a nástroje. [18]



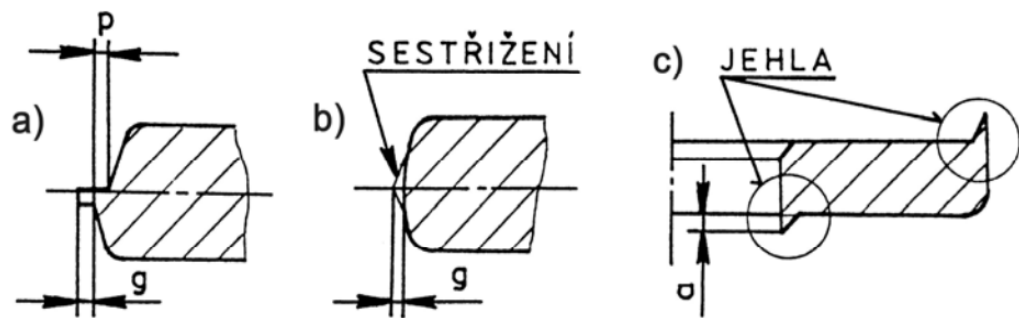
Obr. 6 Výkovek disku [18]

Tab. 1 Úkosity zápusťkových výkovků [16]

Úkosity	Vnější	Vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábí s úkosity	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosity:		
Pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
Vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

2.3. Stanovení dovolených rozměrových a tvarových úchylek

Přesazením (obr. 6a) rozumíme rozměr, o který budou body na jedné straně dělicí roviny výkovku přesazeny oproti souhlasným bodům na druhé straně a to ve směru rovnoběžném s dělicí rovinou. Zbytek materiálu, který vyteče mezi dělené části nástroje, se nazývá dovolený otřep (obr. 6a). Při ostříhu výronku vzniká na výkovku stopa po nástroji tzv. sestřížení (obr. 6b), nebo ostří na hraně střížné plochy tento jev se nazývá jehla (obr. 6c). [18]



Obr. 7 Úchylky výkovků a) přesazení a otřep, b) sestřížení, c) jehla [18]

Norma ČSN 42 9030

Tato norma platí obecně pro výrobky pro tuzemský trh. Mezní úchylky se stanovují, dle normy podle stupně přesnosti výkovku dle největších rozměrů ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu z tabulek. U vnějších rozměrů lze přímo z tabulek vyčíst hodnoty úchylek, pro vnitřní rozměry je třeba použít obrácené hodnoty. Mezní úchylkou rozumíme odchylku od jmenovitého rozměru, úchylkou tvaru rozumíme odchylku od požadovaného geometrického tvaru výkovku. Z tabulek úchylek tvarů a rozměrů lze vyčíst:

- a) úchylky rozměrů
- b) přesazení
- c) otřep
- d) prohnutí

Norma ČSN EN 10243

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 10243-1:1999 a má status české technické normy. Využívá se převážně v automobilovém průmyslu. Tato norma stanovuje odlišným způsobem mezní úchylky výkovků, přesazení, otřep a sestřizení. Využívá se tabulky dle normy, kde s využitím známých hodnot výkovku vyjádříme potřebné hodnoty.

Používané druhy ocelí se dělí do jedné s těchto skupin **stupně obtížnosti kování**:

- skupina M1: ocel s obsahem uhlíku do 0,65% a celkovým obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W) do 5% hmotnosti
- skupina M2: ocel s obsahem uhlíku nad 0,65% a celkovým obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W) nad 5% hmotnosti

Ukazatel členitosti tvaru přihlíží k tomu, že při kování tenkostěnných průřezů a členitých součástí vznikají na rozdíl od součástí, které mají jednoduché ucelené tvary, větší rozměrové variace, což je možno přičíst různé míře smrštění, vyšším tvářecím silám a vyšší rychlosti opotřebení zápustky. Je to tedy poměr hmotnosti výkovku ke hmotnosti obalového tělesa vytvořeného z největšího rozměru.

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obalového tělesa}}} \quad (2.1)$$

Výsledný ukazatel členitosti tvaru patří do jedné z následujících skupin:

- S4: do 0,16
- S3: nad 0,16 do 0,32
- S2: nad 0,32 do 0,63
- S1: nad 0,63 do 1

3. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

Technologický postup výroby zápustkového výkovku v sobě zahrnuje: [18]

- a) Volbu tvářecího stroje
- b) Nakreslení výkresu výkovku
- c) Matematická simulace tvářecího procesu
- d) Stanovení tvaru a rozměru výronkové drážky
- e) Výpočet výchozího rozměru polotovaru
- f) Výpočet hmotnosti výkovku
- g) Výpočet tvářecí síly (u lisu) nebo tvářecí práce a hmotnosti beranu bucharu
- h) Výběr a sled potřebných operací
- i) Tepelné zpracování výkovku
- j) Mechanické a chemické čištění
- k) Rozměrová kontrola

V současné době se již při návrhu a nakreslení výkresu výkovku používá modelovacích softwarů, které spojí několik operací technologického postupu. V první fázi se vytvoří výkres výkovku s výkresu popřípadě 3D modelu, který byl zadán zákazníkem. K tomuto modelu se navrhnu technologické a obráběcí přídávky, úkosity a naznačit dělicí rovinu. Po vytvoření návrhu výkovku s přídávky je možno si zjistit přesný objem této součásti a tedy hmotnost výkovku. Nedílnou součástí při konstruování výkovků je v moderních kovárnách také využití softwarů, které jsou schopny simulovat kování daného procesu. Pro simulaci kovacích procesů se používá softwarů založených na principu metody konečných prvků (MKP) či konečných objemů (MKO). Softwary mají všechny již předdefinované základní okrajové podmínky kování, tak nabízejí oproti nesespecializovaným softwarům, jakými jsou například ANSYS jednodušší a tím kratší dobu přípravy jednotlivých simulací což je v praxi nezbytným předpokladem pro využití těchto softwarů. Základními představiteli softwarů v oblasti zápustkového kování jsou Simufact Forming, Forge, DeForm nebo FormFem.

Všechny tyto softwary pracují na stejném principu, liší se pouze uživatelské prostředí a množství přiřazených zjednodušujících funkcí. Samotná simulace daného kovacího procesu bude blíže popsána a rozvedena v kapitole 4.

Ve firmě Taforge a.s. je to software s názvem Simufact Forming. Výstupem simulací jsou potom hodnoty velikosti intenzity napětí a intenzity deformace v požadovaných bodech výkovku, teploty kování. Dále pak sledování tečení materiálu v zápustce a upozornění na možnosti tvoření zákovků a přeložek. Software je také schopen zjistit kovací sílu, která je potřeba pro přetvoření polotovaru, tím se dá již výkovek přiřadit k tvářecímu stroji. Všechny tyto softwary však pracují v dokonalém prostředí, proto slouží pro zjednodušení jako ověřovací metoda. Správná konstrukce nástrojů a výpočet hmotnosti výchozího materiálu a výkovku, jakož i volba stroje a sledu operací je při dodržení platných norem, závislá na zkušenostech a technické způsobilosti konstruktérů a technologů. Pro kování vidlice řízení jakožto tvarově členitého dílu pro mezinárodní automobilový průmysl, kde jsou kladeny vysoké nároky na přesnost nelze se řídit platnou normou ČSN 42 90 30. Pro zápustkové kování se firma řídí platnou evropskou normou ČSN EN 10243.

3.1. Materiál výkovku

Zadaný materiál pro automobilový díl vidlice řízení S355J2, jedná se o universální nelegovanou jemnozrnnou ocel s vysokou vrubovou houževnatostí. Je-li dodaný materiál dále tvářen, splňuje dané mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žíhání.

Tab. 2 Ekvivalentní značení oceli S355J2

EN 10027-1	DIN	ČSN	W.Nr
S355J2	St52 – 3	11523	1.0570

Tab. 3 Chemické složení materiálu S355J2 [20]

Prvek	C	Mn	Si	P	S
Chem. složení v hmot. %	0,2	max. 1,6	0,55	0,025	0,025

Tab. 4 Mechanické vlastnosti materiálu S355JN [20]

	R _{eH} [MPa]	R _m [MPa]	L _o [%]	KV [J]
Mechanické vlastnosti	295	450 - 600	18	27

3.2. Materiál zápusťky

Materiál pro výrobu nástrojů byl vzhledem k velikosti série zvolen 19 663. Jedná se o nástrojovou ocel pro práci za tepla, vhodná pro buchary a lis, průtlačníky. Ocel vykazuje vysokou tvrdost až 248 HB po kalení, dobrou odolnost proti popouštění, houževnatost a pevnost za tepla.

Tab. 5 Ekvivalentní značení oceli 19 663

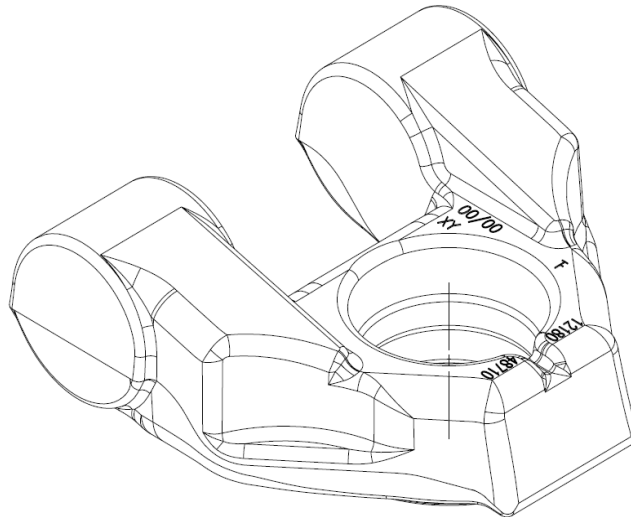
EN 10027-1	DIN	ČSN	W.Nr
55NiCrMoV7	55NiCrMoV7	19 663	1.2714

Tab. 6 Chemické složení materiálu 19 663 [20]

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	V
Chem. složení v hmot. %	0,5 0,6	0,65 0,95	0,1 0,4	0,03	0,03	0,8 1,2	0,35 0,55	1,5 1,8	0,05 0,15

3.3. Výkres výkovku

viz. příloha [A]

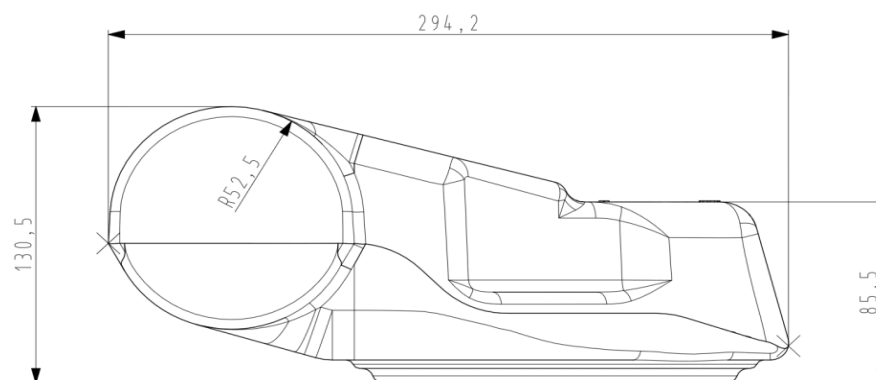


Obr. 8 Model výkovku

3.4. Volba dělicí roviny

Návrh se provádí dle zásad pro volbu dělicí roviny s přihlédnutím na vybrání a rádiusy po obvodu výkovku:

- a) Dělicí rovina splňuje snadné vyjímání se zápustky
- b) Dělicí rovina umožňuje dokonalé ostřížení výronku
- c) Dutina zápustky se více zaplňuje přechováním než protlačováním
- d) Větší část výkovku je umístěna v horní zápustce
- e) Poloha dělicí roviny kladně ovlivňuje průběh vláken
- f) Byla umístěna s ohledem na kontrolu vzájemného přesazení zápustek



Obr. 9 Základní rozměry výkovku a dělicí rovina

3.5. Stanoven mezních úchylek výkovku

Mezní úchyly se stanovily podle tabulky z normy ČSN EN 10243-1. Výkovek byl zařazen podle stupně přesnosti kování do třídy F.

Tab. 7 Hodnoty získané s nomogramu normy ČSN EN 10243-1

Přesazení	Otřep (+) Sestřížení (-)	Dělicí plocha	Hmotnost [kg]	Stupeň obtížnosti kování	Ukazatel členitosti tvaru - S3	Jmenovitý rozměr [mm]	Úchyly
1,7	2,0	Nesouměrná	20-50	M2	$0,16 \leq 0,32$	$>250 \leq 400$	$5,0^{+3,3}_{-1,7}$

3.6. Výpočet objemu výchozího materiálu

$$V = V_{id} \cdot \left(1 + \frac{o}{100}\right) [mm^3] \quad (3.1)$$

$$V = 4305732 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right)$$

$$V = 4348789.3 [mm^3]$$

V_{id} – objem ideálního předkovku

O – opal (%)

Velikost opalu závisí na způsobu ohřevu materiálu:

- | | |
|--|-------------------------|
| a) Ohřev v plynové peci | $o = (2,5 \div 3,0) \%$ |
| b) Elektrická komorová pec | $o = (0,5 \div 1,0) \%$ |
| c) Elektrický ohřev odporový nebo indukční | $o = (0,6 \div 1,0) \%$ |

Hmotnost výkovku byla stanovena pomocí modelovacího softwaru NX Unigraphics.

$$V_{výk} = 4,305732 \times 10^{-3} [m^3] = 4305732 [mm^3]$$

$$m = V \cdot \rho [kg] \quad (3.2)$$

$$m = 4,305732 \cdot 7850 = 33,7 \text{ kg}$$

3.7. Stanovení kovací síly

V praxi se využívá několik empirických vzorců v kombinaci s tabulkovými hodnotami a nomogramy pro rychlé stanovení kovací síly pro nekruhové výkovky například dle:

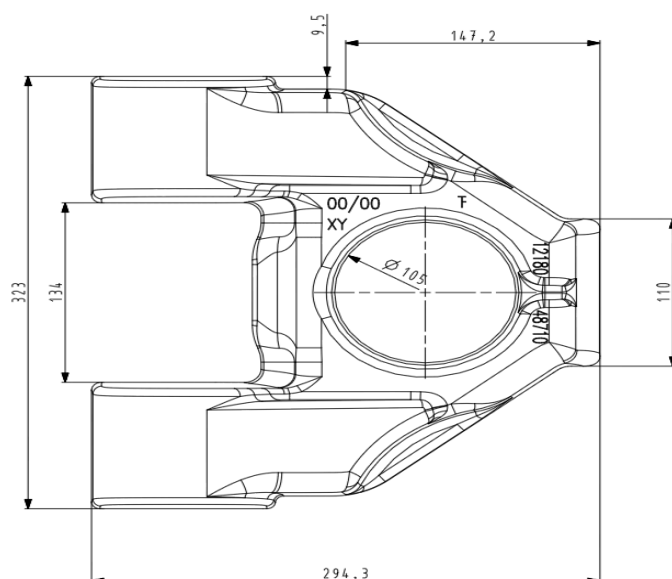
- a) Bjuchanov – Rebelského
- b) Tomlenova
- c) Storoževa
- d) Šmeralovy závody v Brně

Výpočet potřebné tvářecí síly dle **Bjuchanov – Rebelského** pro nekruhový výkovek, se použije tehdy, známe li hodnoty: D , S , σ_p (k_p). Využívá se pro výpočet síly a následné určení velikosti kovacího stroje a velikosti výronkové drážky dle tabulky (viz Tab. 8):

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{red}) \cdot (1,1 + \frac{20}{D_v})^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_v}{B_s}}) \cdot k_p \cdot S_v [N] \quad (3.3)$$

Potřebnou plochu průměru bez výronku spočteme vynásobením největších rozměrů v rovině rovnoběžné s dělicí rovinou a to včetně blán.

$$S_v = x \cdot y = 323 \cdot 295 = 95285 \text{ mm}^2 \quad (3.4)$$



Obr. 13 Základní rozměry výkovku v rovině zápusťky

Jelikož se jedná, o nekruhový výkovek musí se použít místo průměru D redukovaný průměr výkovku D_{red}

$$D = D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{S_v} \quad (3.5)$$

$$D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{95285} = 348,811 [mm]$$

Střední šířka výkovku:

$$B_s = \frac{S_v}{L_v} \quad (3.6)$$

$$B_s = \frac{95285}{130}$$

$$B_s = 295 [mm]$$

Ve vzorci tedy po dosažení bude síla dle **Bjuchanov - Rebelského**:

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 348,811) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{348,811}\right)^2 \cdot (1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{323}{295}}) \cdot 80 \cdot 95285$$

$$F = 58755940[N] = 58,7 [MN]$$

Výpočtem síly metodou Bjuchanov – Rebelského je možno určit lis a dle tabulek určit rozmezí výronkové drážky.

Tab. 8 Základní rozměry výronkových drážek pro mechanické lisy dle ČSN [19]

Síla lisu	h (mm)	b (mm)	b _z (mm)	r (mm)
2,5	1,0 ÷ 1,5	3 ÷ 5	25	1,0 ÷ 1,5
6,3	1,0 ÷ 2,0	3 ÷ 7	25	1,0 ÷ 1,5
10	1,5 ÷ 2,5	4 ÷ 7,5	30	1,0 ÷ 1,5
16	2,0 ÷ 3,0	5 ÷ 8	32	1,5 ÷ 2,5
25	2,5 ÷ 4,0	6 ÷ 10	38	1,5 ÷ 2,5
31,5	2,5 ÷ 4,5	6 ÷ 11	40	2,0 ÷ 3,0
40	3,5 ÷ 5,5	7 ÷ 12	42	2,0 ÷ 3,0
63	4,5 ÷ 8,0	9 ÷ 15	50	2,0 ÷ 5,0

Pro rychlou orientaci v praxi se často používá také empirický vztah vyvinutý **Šmeralovými** závody v Brně [5]:

$$F = 0,6 \cdot S_{výr} \cdot \sigma_p \cdot n_{TS} \quad (3.7)$$

U výpočtu se využívá znalosti plochy výronku. Proto lze tedy před samotným výpočtem stanovit rozměry výronkové drážky. Výška můstku se stanovila dle nomogramu (obr. 14) $h=6$ mm. Při stanovení výšky můstku h lze ze vzorce spočítat šířku můstku b dle:

$$b = 3 \cdot h \quad (3.8)$$

$$b = 3 \cdot 6$$

$$b = 18 \text{ [mm]}$$

Dále lze vypočítat hloubku zásobníku:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad (3.9)$$

$$n = 0,4 \cdot 6 + 2$$

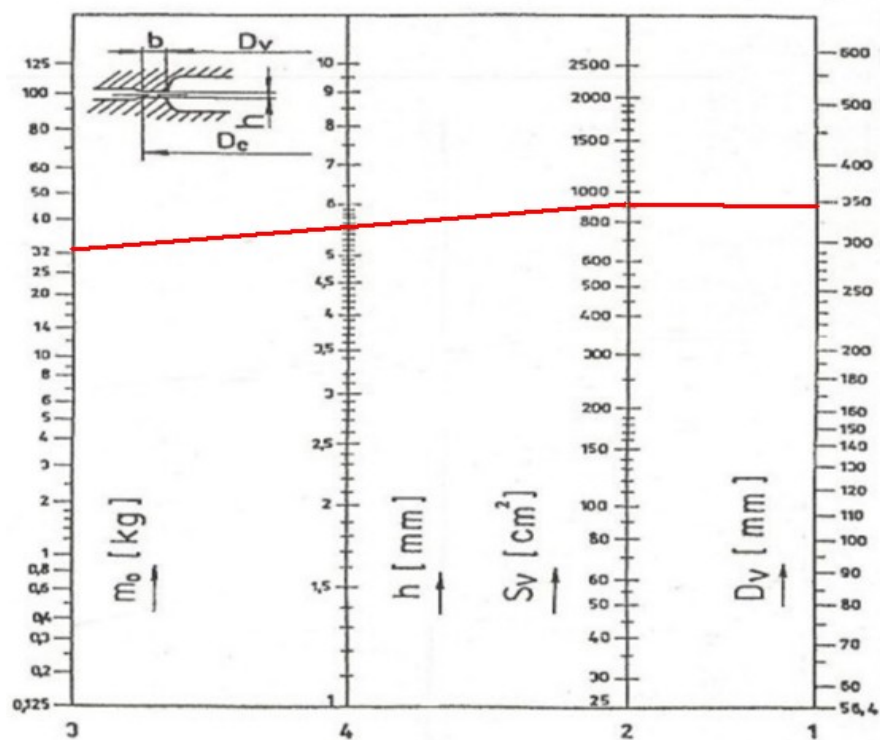
$$n = 4,4 \text{ [mm]}$$

Plocha průměru výkovku včetně blán:

$$S_{výr} = (x + 2 \cdot b) \cdot (y + 2 \cdot b) [\text{mm}^2] \quad (3.10)$$

$$S_{výr} = 359 \cdot 331 = 118829 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_{výr} = 118829 \text{ [mm}^2\text{]}$$



Obr. 14 Určení velikosti můstku dle nomogramu [19]

σ_p (k_p) – přirozený přetvárný odpor

$S_{výr}$ – plocha průřezu výkovku včetně výronku

S_v – plocha průměru výkovku bez výronku

D_v – průměr výkovku bez výronku

D_{red} – redukovaný průměr výkovku (pro nekruhové výkovky)

B_s – střední šířka výkovku

L_v – největší rozměr výkovku v půdoryse

N_{TS} – koeficient vlivu tvarové složitosti (1 – 1,45)

3.8. Stanovení kovacího stroje

Při stanovení hmotnosti výkovku a výpočtu velikosti kovací síly se zařadil na nejsilnější kovací lis ve firmě Taforge a.s. od firmy ŽĐAS a.s. LZK 6300, který je vybaven mechanickým manipulátorem pro těžké a objemné výkovky. Stroj je vybaven indukční ohřívací pecí s automatickým přísunem materiálu ke stroji.

Tab. 9 Základní technické parametry stroje

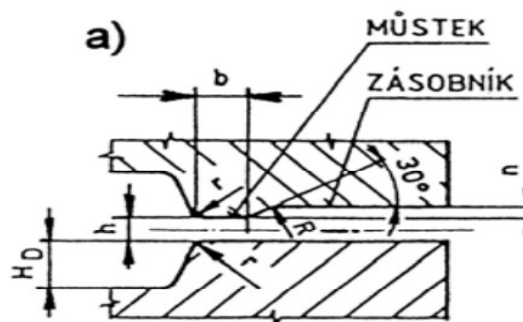
Tvářecí síla	63 [MN]
Sevření	1150 [mm]
Průchod	1960 [mm]
Upínací plocha stolu	1950x1900 [mm]
Upínací plocha beranu	1960x1700 [mm]
Přestavení beranu	15 [mm]
Zdvih	450 [mm]
Počet zdvihů	40 [1/min]



Obr. 15 Mechanický klikový lis LZK 6300

3.9. Stanovení tvaru a velikosti výronkové drážky

Dle velikosti síly mechanického klikového lisu volíme hodnoty dle (tab. 8). Typ výronkové drážky byl zvolen a), nepředpokládá se z důvodu tvarové členitosti velké tečení materiálu do výronku. Většina bude využita při zaplňování tvaru výkovku.



Obr. 10 Zvolený typ výronkové drážky a) pro mechanický lis

Výpočet objemu výronku:

$$V_{Výr} = O \cdot \left[b \cdot h + \left(n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \quad [\text{mm}^3] \quad (3.11)$$

$$V_{Výr} = 1056 \cdot \left[18 \cdot 6 + \left(4,4 + \frac{6}{2} \right) \cdot 20 \right]$$

$$V_{Výr} = 270336 [\text{mm}^3]$$

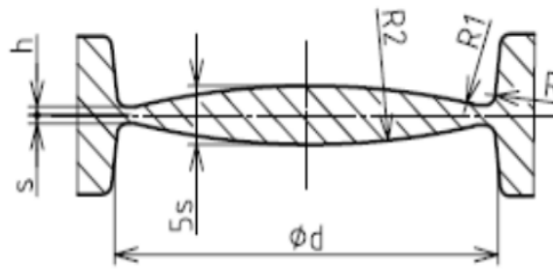
O – obvod výkovku

Hodnota šířky otřepu B se volí:

- pro výkovky do 0,5 kg	10 mm
- pro výkovky do 2 kg	15 mm
- pro výkovky nad 2 kg	20 mm

3.10. Stanovení tvaru a velikosti blány

Pro tento výkovek se zvolil vypuklý typ blány. Blána v tomto případě bude sloužit i jako zásobník materiálu. Průměr díry dle výkresové dokumentace $d = 116 \text{ mm}$. Zjištěná výška můstku dle nomogramu $h = 6 \text{ mm}$.



Obr. 11 Zvolená blána pro výkovek

Tloušťka blány se určí dle:

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{d - 0,25 \cdot h - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h} \text{ [mm]} \quad (3.12)$$

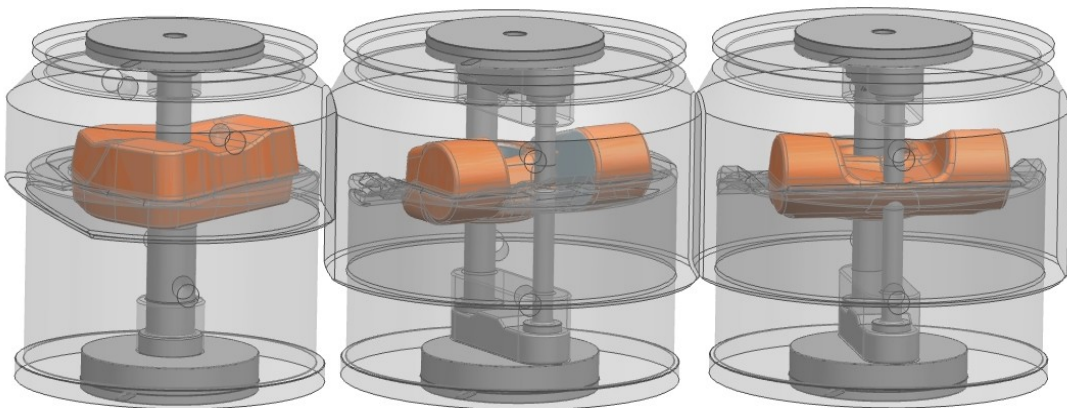
$$s = 0,45 \cdot \sqrt{116 - 0,25 \cdot 6 - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{6}$$

$$s = 6,17 \cong 6 \text{ [mm]}$$

Byla stanovena tloušťka blány v nejužší části $s = 6 \text{ mm}$. V nejvyšším místě by měla blána dosahovat maximální tloušťky 30 mm .

3.11. Volba typu vyhazovače

Vzhledem k tvaru výkovku byl zvolen kolíkový vyhazovač, v I. operaci jednoduchý, ve II. a III. operaci byli zvoleny dva vyhazovače (viz obr. 12). V II. a III operaci bylo využito velké blány mezi rozvidlením výkovku a v místě prokování pro otvor. Při tomto návrhu není potřeba přihlížet k dovolené toleranci stopy po vyhazovači. Místa kde se bude tvořit stopa po vyhazovači, bude po kování ostřížena. Výkres sestavy zápustek viz příloha [B].



Obr. 12 Umístění vyhazovačů v kovacích operacích (Z leva I., III., II. operace)

3.12. Volba ostříhovacího zařízení

Pro volbu ostříhovacího lisu pro výkovek vidlice řízení je nejdříve nutno spočítat maximální střížnou sílu, kterou bude nutno vyvinout pro ostřížení výronku a děrování. Výpočet síly pro ostřížení výronku bude:

$$F_V = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot o \cdot h \text{ [N]} \quad (3.13)$$

$$F_V = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 600 \cdot 1056 \cdot 6$$

$$F_V = 5170176 \text{ [N]}$$

Výpočet děrovací síly:

$$F_D = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot o_b \cdot h_b [\text{N}] \quad (3.14)$$

$$F_D = 1,7 \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot 345 \cdot 9$$

$$F_D = 2533680 [\text{N}]$$

Celková střižná síla:

$$F_C = F_V + F_D [\text{N}] \quad (3.15)$$

$$F_C = 5170176 + 2533680$$

$$F_C = 7703856 [\text{N}]$$

R_m – Mez pevnosti materiálu při 800 -1000°C

o – obvod výkovku v dělicí rovině

h – výška můstku

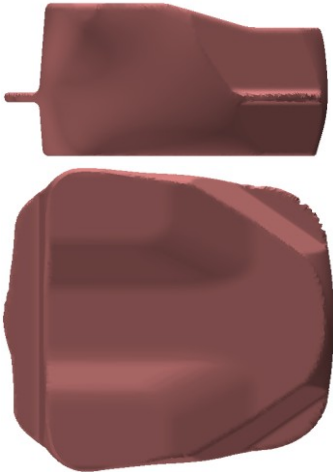
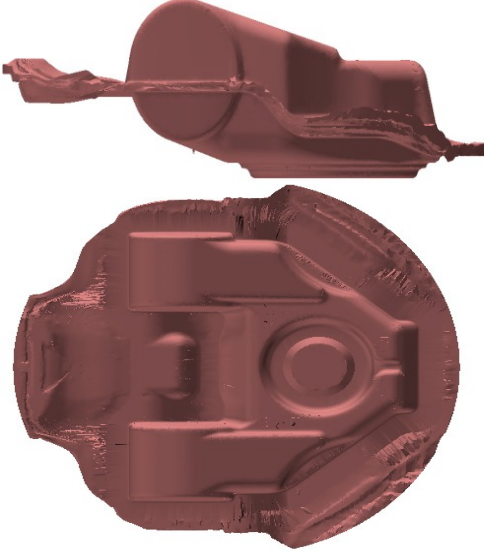
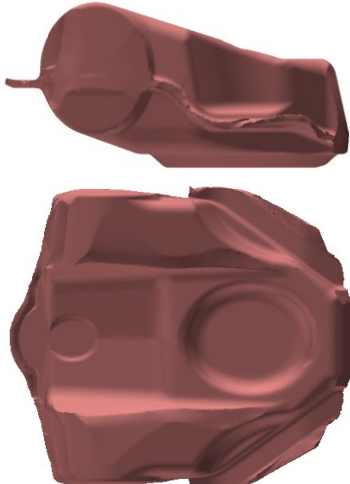
o_b – obvod blány

h_b – výška můstku blány

Dle vypočtené síly byl zvolen stříhací lis LDO 800 A/S od firmy Šmeral a.s. o jmenovité síle 8000 [kN]. Ostřížení a děrování bude na lise rozděleno na dvě operace. V I. operaci bude provedeno děrování v II. operaci bude ostřížen obvodový výronek.

3.13. Volba potřebného sledu operací

Tab. 10 Technologický postup výroby vidlice řízení

Dílec	Nářadí	Počet kusů
11263	TMK- 1884	20 000
Operace	Podmínky	Poznámka
1) Dělení materiálu	Pila PP410	Šířka přířezu max. $L_R=4$ mm
2) Indukční ohřev	Pec ISOK 750 w1, w2	Teplota max. 1200°C
3) Kování	LZK 6300	Počet kovacíh operací:III
3. operace	3. operace	4. operace
		
4) Ostřih	LDO 800 A/S	Hmotnost výkovku 33,8 kg Střižná síla 7700 [kN]
5) Kontrola	Po 45 minutách	Kontrola rozměrů a ohřevu
6) Zbavení okují	PT 500 B	2 bedny (2x50 ks)
7) Tepelné zpracování	LZ pec válečková	Norm. žihání – 870 – 900°C
8) Výstupní kontrola	Kontrola rozměrů	
9) Nedestruktivní kontrola	Flux	Kontrola vnitřních a povrchových vad

4. MATEMATICKÁ SIMULACE ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ

Matematické simulace pomocí softwaru Simufact Forming se využívá pro ověření správnosti konstrukčních variant při návrhu tvaru výkovku a dutin pro jednotlivé kovací operace. Pro jednoduché ověření směru tečení materiálu a pro předběžné stanovení kovacích sil v jednotlivých operacích se využívá metody FVM (finite volume method), jedná se o tzv. metodu konečných objemů (MKO). Metody se využívá především z důvodu rychlosti získání potřebných údajů v řádech několika hodin a tím možnosti konstrukční změny modelu výkovku či zápusťky v modelovacím softwaru. Touto metodou se dají také určit místa s možností tvorby zákovků a přeložek nebo místa kde se bude nejvíce opotřebovávat zápusťka. Pro přesnější analýzu kovacího procesu slouží metoda FEM (finite element method), neboli metoda konečných prvků (MKP). Metoda umožňuje deformačně napěťovou analýzu výkovku i kovacího nástroje. Slouží pro přesné ověření správnosti tvaru výkovku a kovacích operací.

4.1. Simulace vidlice řízení

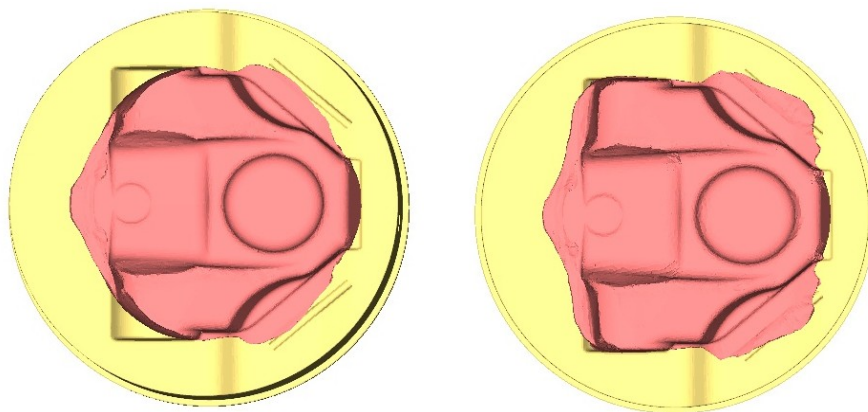
Pro simulaci kování vidlice řízení byly použity obě metody výpočtů tedy MKP a MKO. Do prostředí softwaru byly importovány kovací nástroje, vytvořené v CAD softwaru NX Unigraphics. Okrajové podmínky pro zápusťkové kování jsou již nadefinované při zvolení dané metody. Z elektronické knihovny softwaru se zvolí potřebný stroj, tedy klikový lis o jmenovité síle 63 [MN] a odpovídající materiál pro zápusťky a výkovek. Pro dosažení optimálních výsledků je nutno zadat také teplotu kování, předehřev nástrojů a koeficient tření mezi nástrojem a polotovarem.

Tab. 11 Hodnoty zadávané do stromu procesů simulace kování

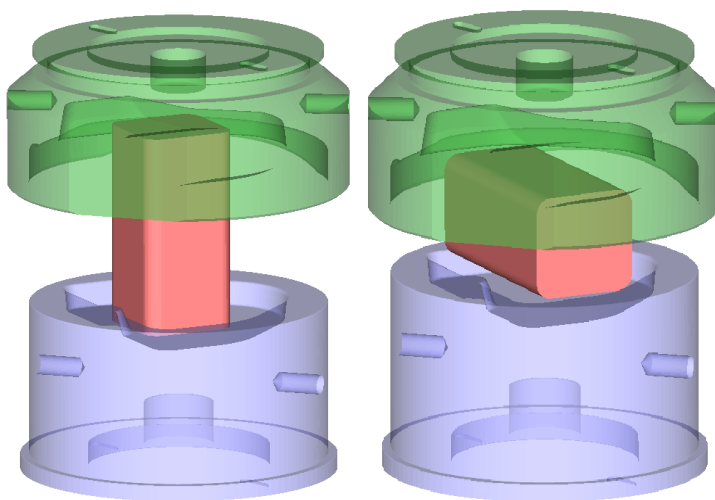
Teplota kování [°C]	Teplota nástrojů t [°C]	Koeficient tření I. operace f [-]	Koeficient tření II. operace f [-]	Koeficient tření III. operace f [-]
1100	350	0,2	0,2	0,17

4.2. Zjištění optimálního průřezu a ustavení polotovaru

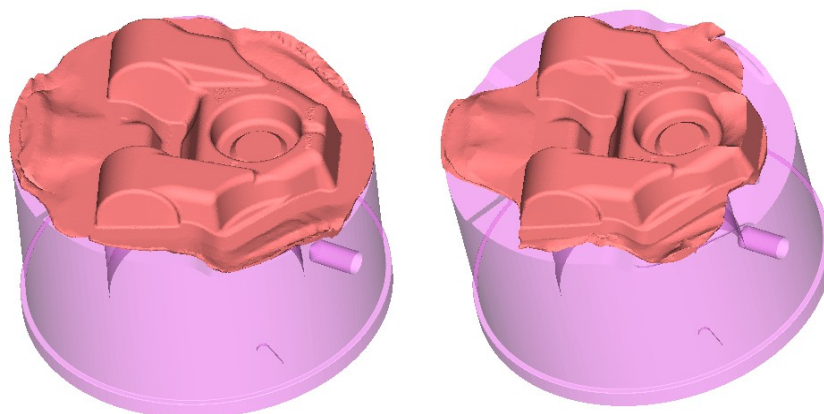
Prvotní simulace metodou MKO se zaměřily na možnosti použití polotovaru s rozdílným průřezem. Pro kování vidlice řízení byl navrhnout polotovar s kruhovým průřezem 140x340 a sochor 130x326. Při simulaci I. operace nebyli zjištěny žádné rozdíly, jelikož se jedná pouze o stlačení. Simulace u II. kovací operace ukázala, že při volbě kruhového polotovaru se dutina zápustky zcela nezaplňuje a to již v II. operaci (obr. 13). To by mělo za následek nezaplnění celé dutiny zápustky v III. operaci. Pro kování vidlice řízení byl určen polotovar čtvercového průřezu, díky tomu bude materiál lépe zaplňovat dutinu zápustky jak je patrné z obrázku 13. Další simulace se zaměřily na volbu správného ustavení sochoru v dutině zápustky. Byly zvoleny dvě metody, sochor vložený průřezem kolmo na dolní zápustku a vložení podélně s dutinou zápustky. Z provedených simulací je vidět, že materiál u metody položeného sochoru, nezatéká plně do vidlicovité části (obr. 15), zde se netvoří dostatečný výronek, což by mělo po III. operaci za následek úplné nezaplnění dutiny v daném místě. Dále je z obrázku patrné nedotečení materiálu u prokování díry. Materiál zcela nezaplňuje požadovaný tvar dutiny. I když ustavení sochoru vodorovně se z technologického hlediska jeví jako lepší varianta, simulace však odhalila možnost nesprávného tečení materiálu v zápustce.



Obr. 13 II. operace kování (na levé straně kulatina, na pravé sochor)



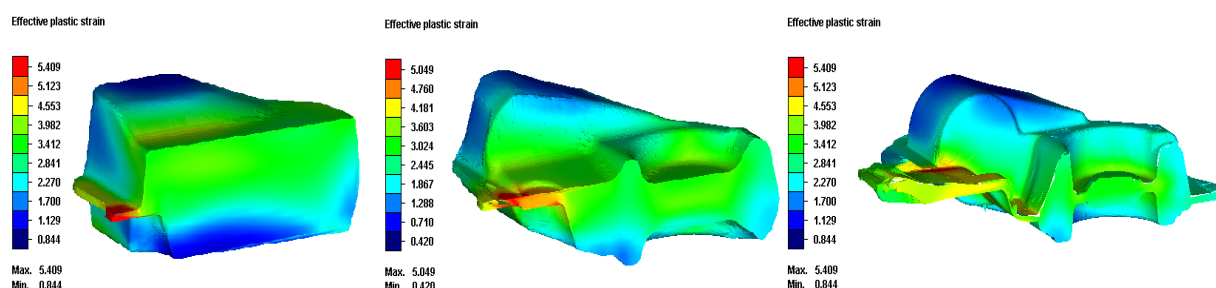
Obr. 14 Volba správného ustavení sochoru a) kolmo na dolní zápustku b) vodorovně se zápustkou



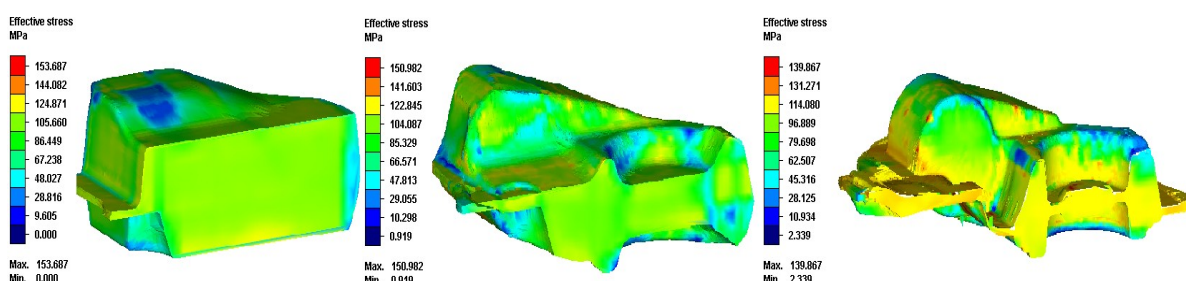
Obr. 15 Rozložení materiálu po III. operaci a) kolmo na dolní zápustku b) vodorovně se zápustkou

4.3. Simulace metodou konečných prvků

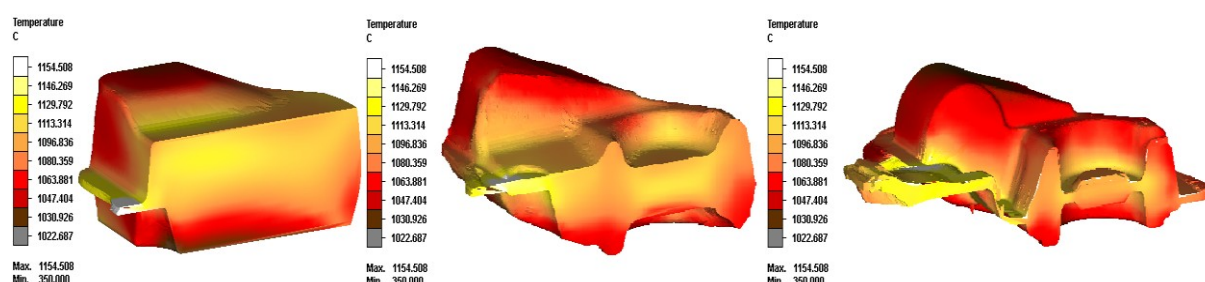
Simulace touto metodou je nejvhodnější pro analýzu deformačně napěťových stavů u kované součásti. Pro simulaci vidlice řízení jsem zvolil nejvhodnější variantu síťování pro zápusťkové kování a množství elementů v závislosti na velikosti výkovku. Jedná se o síťování Hexmesh a tvar elementu Hexahedral o velikosti 4 mm u I. operace, 3 mm u II. operace a 2 mm u III. operace. Zmenšování (zjemňování) sítě bylo prováděno záměrně v závislosti na tvarové složitosti jednotlivých operací pro získání co nejpřesnějších výsledků



Obr. 16 Intenzita deformace MKP, I. operace, II. operace, III. operace



Obr. 17 Intenzita napětí MKP, I. operace, II. operace, III. operace



Obr. 18 Teplota výkovku v konečné fázi jednotlivých operací MKP

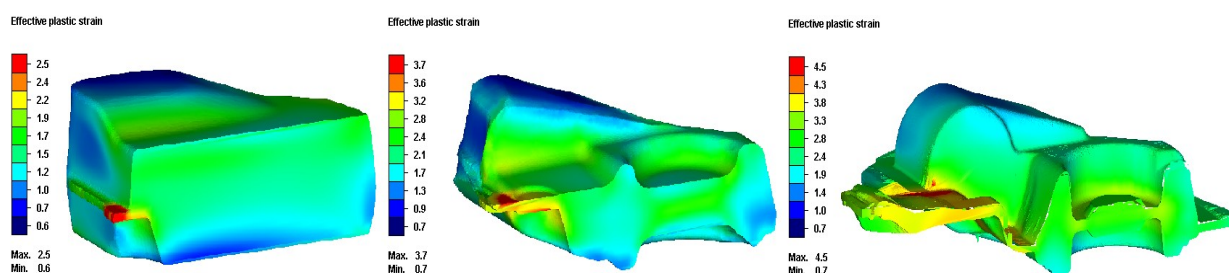
Tab. 12 Shrnutí dosažených výsledků MKP

	I. operace	II. operace	III. operace
Intenzita deformace [-]	3,982	3,603	3,982
Intenzita napětí [MPa]	105,66	104,5	114,8
Teplota °C	1146	1140	1130

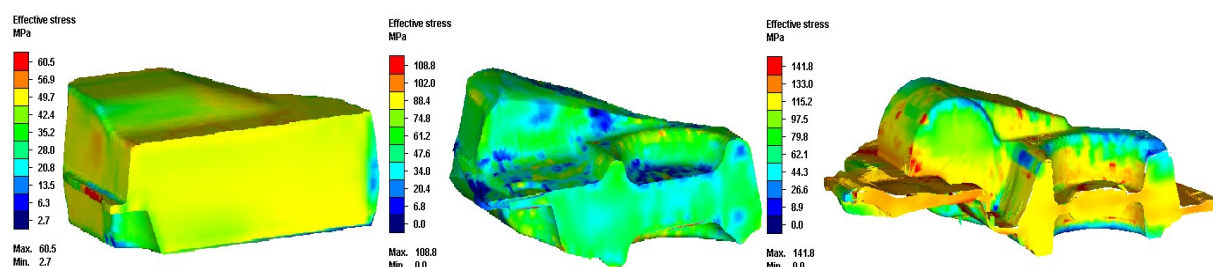
Hodnoty získané metodou MKP byly zaznamenány do tabulky 12. Z výsledků jsou patrné hodnoty deformace pohybující se kolem 3 – 4. Snížení intenzity deformace na rozvidlení výkovku odpovídá míře deformace v tomto místě, největší deformace probíhají při prokování středu polotovaru. Velikost intenzity napětí v jednotlivých operacích nepřevyšuje hodnotu 120 MPa. Hodnoty opět rostou v místech prokování Kovací teploty mají požadovanou hodnotu okolo 1150 °C, tam kde se jsou hodnoty kolem 1000° se jedná o ochlazení výkovku vlivem kontaktu s chladnějším nástrojem. Výsledky patrné i z obrázků převyšující zmíněné hodnoty jsou tvořeny teplotami, deformacemi a napětím, které se tvoří v místech výronku, což neovlivní výsledný polotovar. Výsledky v těchto místech mohou být také skresleny chybou při matematické simulaci, ke kterým může docházet u metody MKP v místech s velkým ztenčením stěny.

4.4. Simulace metodou konečných objemů

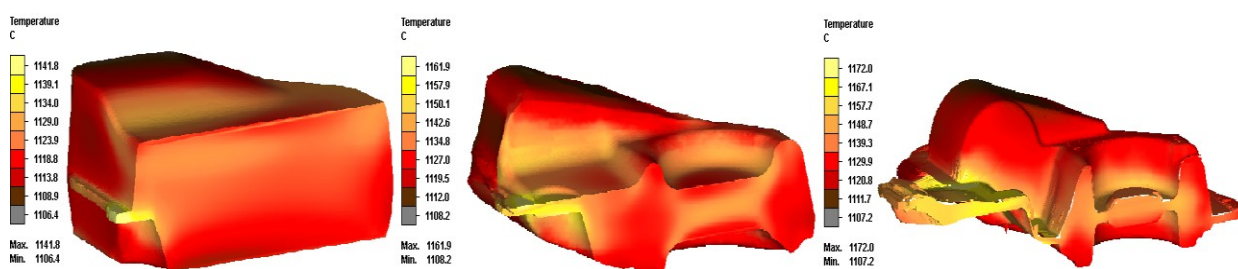
Pro výpočet metodou konečných objemů bylo zvoleno síťování slmesh (simlab) typ elementu Triangle. Při velikosti elementu I. Operace 4 mm, II. operace 3mm, III. Operace 2 mm. Zjemňování sítě bylo obdobně jako u MKP prováděno záměrně v závislosti na tvarové složitosti jednotlivých operací.



Obr. 19 Intenzita deformace MKO, I. operace, II. operace, III. operace



Obr. 20 Intenzita napětí MKO, I. operace, II. operace, III. operace



Obr. 21 Teplota výkovku v konečné fázi jednotlivých operací MKO

Tab. 13 Shrnutí dosažených výsledků MKO

	I. operace	II. operace	III. operace
Intenzita deformace [-]	1,9	2,8	3,3
Intenzita napětí [MPa]	49,7	88,4	115,2
Teplota [°C]	1129	1142	1157

Metoda konečných objemů na výstupu ukazovala nižší intenzity napětí než MKP a tomu závislé deformace. Nejvyšší hodnoty jsou, jako u MKP ve středu výkovku kde dochází k největšímu přetvoření materiálu a tím i k největším napětím a deformacím. Hodnoty, patrné z obrázků simulací, které převyšují dané hodnoty jsou místa vyšších deformací na výronku a možné matematické chyby softwaru.

4.5. Porovnání výsledků simulace MKP a MKO

Při porovnání obou metod získané hodnoty nepřesáhly limitní hodnoty pro tváření za tepla. Efektivní deformace se u tváření za tepla pohybuje $\varepsilon = 2 - 4$ [-]. [21]

Pouze v první operaci kování u metody MKO ukázala velice nízkou intenzitu napětí a tím i nízkou intenzitu deformace. Rozdíly v hodnotách kovacíh teplot jsou zanedbatelné. Je patrné, že mezi oběma metodami je rozdíl ve výstupních hodnotách. Rozdíly napětí a deformací v jednotlivých operacích nejsou zanedbatelné, napětí by se dalo přisoudit chybám při softwarovém výpočtu, ale rozdíly intenzity deformace jsou příliš rozdílné. Při opakovaných simulacích byla prokázána silná závislost výsledků na velikosti elementu a jeho typu. Metoda MKO nenabízí pro simulaci stejný typ elementu, jako byla použita u MKP, tedy Hexahedral element. Volba rozdílných druhů elementu mohla být příčinou získání odlišných výsledků. Teploty se však nijak nelišily, proto lze usoudit, že rozdílný tvar elementu a jeho posunutí při deformacích dává rozdílné hodnoty. Tento fakt je potvrzen i v literatuře [22], kdy každá metoda a tvar elementu lze řešit jinou okrajovou podmínkou a síťovým řešičem. Každá z metod může pracovat s jinými kritérii tvářitelnosti.

Tab. 14 Srovnání MKP a MKO

	I. operace		II. operace		III. operace	
Metoda	MKP	MKO	MKP	MKO	MKP	MKO
Intenzita deformace [-]	3,982	1,9	3,603	2,8	3,982	3,3
Intenzita napětí [MPa]	105,66	49,7	104,5	88,4	114,8	115,2
Teplota °C	1146	1129	1140	1142	1130	1157

5. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ DÍLCE

Jedná se o jeden ze dvou tvarově podobných dílců pro automobilový průmysl, kovaných ve firmě Taforge a.s. Dílec určený pro nákladní vozidla je součástí řídicího ústrojí. Součást je stejně jako její obdoba zařazena na největší kovací lis LK 6300 jak z důvodu přesnosti výroby, tak z důvodu hmotnosti výkovku. Výroba takto členitých dílů s vysokou přesností sebou nese větší rizika tvorby vad v podobě úplného nezaplnění dutiny výkovku, tvorby zákovků a přeložek. Těmto chybám se však dá předejít konstrukčními a technologickými úpravami již při kování zkušební série. Lis je vybaven měřícím zařízením, které monitoruje zatížení stroje při každé kovací operaci. Základním předpokladem pro správné zaplňování dutiny zápustky je volba vhodného rozměru, ale i tvaru polotovaru. Pro kování této nerotační součásti se s využitím softwaru (viz. kapitola 4) volil polotovar ve tvaru sochoru 130x326 mm.

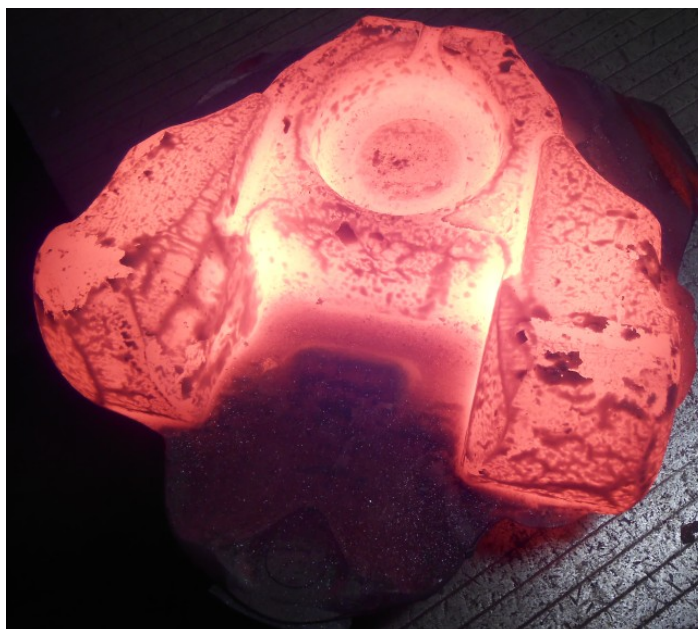
5.1. Zkušební série

První zkušební série výkovků byla stanovena na 10 kusů. Polotovary pro zkoušku měly stejné rozměry průřezu a rozdílné hmotnosti pro seřízení stroje a ověření navrhované technologie. Polotovarů s menší hmotností se využilo, k predikci optimálního rozměru tak, aby nedošlo k přetížení stroje, například z důvodu nedostatečného prohnutí polotovaru nebo nástrojů, popřípadě zatečení materiálu v zápustce nebo ve výronkové drážce. První dva kusy slouží také k seřízení stroje na jmenovitou výšku. První kus vykováný po seřízení stroje a dodržení technologického postupu je určen k následnému změření základních parametrů. Tyto se uvedou do přiložené výkresové dokumentace určené pro zkoušku. Dalších 5 kusů je určeno pro defektoskopii, kde se zaznamenají případná nedokování a zákovky. Tyto se zaznačí do zkušební výkresové dokumentace.

Tab. 15 Záznam o zkoušce nové technologie

	Maxilis 63 000 kN	Pracoviště 3112	Číslo výkovku: 11 263		
Ks	Jakost	Způsob dělení	Rozměry [mm]	Vs. Váha [kg]	Sp. Váha [kg]
2	S355J2 (St52-3)	Řezat a střípkovat	Cg 130x299	37,5	40,5
4			Cg 130x311	39,0	42,3
4			Cg 130x326	40,8	44,5

Při kontrole výkovku po kování z polotovaru 130x311 mm bylo pohledem zjištěno nedotečení materiálu v rozdvojené části výkovku (viz obr. 25). Byl tímto potvrzen předpoklad použití menšího objemu polotovaru, než je pro danou součást určen. Daný výkovek byl určen pro ověření správnosti technologie a základních výškových rozměrů polotovaru z hlediska následného seřízení lisu. Byla prokázána možnost nezatékání materiálu do této části dutiny, což bylo ověřeno již v matematických simulacích výkovku.



Obr. 22 Nedotečení materiálu v rozdvojené části výkovku

Po provedení zkušební série bylo možno pro následnou defektoskopii použít dva výkovky, z toho jeden byl záměrně vykován pouze do II. operace, pro zjištění tvorby přeložek a zákovků. U výkovku po III. operaci se provedlo měření hodnoty otřepů po ostříhu, velikost přesazení a rovinnost. Defektoskopie neodhalila u obou výkovků žádné závažné vnitřní vady. Kontrola také ověřila vyražené písmo na výkovku obsahující značení firmy zákazníka, ochranný znak firmy Taforge, číslo tavby a číslo dílce.

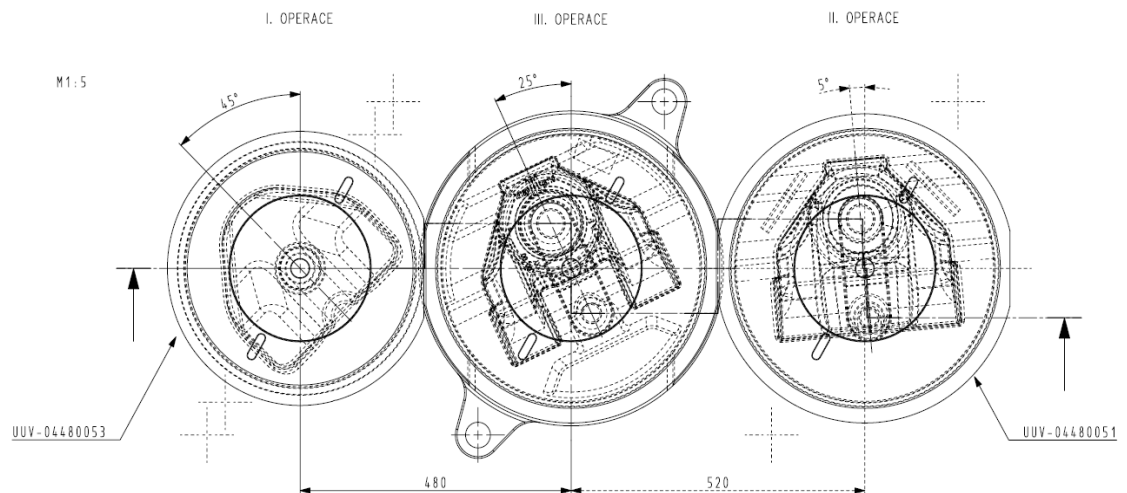
Tab. 16 Výsledky metrologické kontroly a defektoskopie

Otřep [mm]	Přesazení [mm]	Rovinnost [mm]	Flux II. operace	Flux	Značení
2,5	0,3	1,2	OK	OK	nečitelné

Po zjištění drobných nedostatků bylo doporučeno opakování série, která již bude vzorková s možností dodání vzorků pro mechanické zkoušky a následné opracování. Pro novou zkoušku byl navržen polotovar s rozměrem (s přihlédnutím k nedostatkům v předchozím ověřovacím procesu kování) rozměr polotovaru 130x326 mm.

5.2. Vzorková série

Při kování vzorkové série se již přihlíželo ke kovacím časům, které byly měřeny a následně zavedeny do normy času. Vzorková série se proto kovala přes 2 pracovní směny, aby bylo možné monitorovat všechny osádky stroje. Pro minimalizaci přesazení bylo změněno pořadí kovacích operací (viz obr. 23) z I., II, III., na I., III., II. Toto opatření je s důvodů vůlí v kovacím lisu, kdy nejpřesnější zdvih je u prostředního nástroje, tedy v ose stroje.



Obr. 23 Změna pořadí kovacích operací

Při kontrole výkovků z ranní směny nebyly měřením a defektoskopií zjištěny žádné vady. Výkovek splnil požadované parametry dané normou a bylo ho možno odeslat zákazníkovi. Kontrola výkovku po odpolední směně odhalila tvorbu zákovků po obvodové části (viz obr. 24). Tyto vady byly přisouzeny několika faktorům, především frekvenci kování a tím rozdílnost teploty kování dále pak zkušenostem osádek kovacího lisu při ustavování výkovku na jednotlivých směnách, nutnost dodržení správnosti ustavení odhalila i softwarová simulace viz kap. 6. Těmto nedostatkům se předešlo zvětšením zaoblení v II. operaci a tím předejití možnosti přeložení materiálu a tvorby zakovaných míst v závěrečné III. operaci. Dodržení kovacích teplot a správné a přesné ustavování výkovků do jednotlivých operací zamezily tvorbě dalších vad. Další kování, následně prokázali správnost navrhnutých úprav.



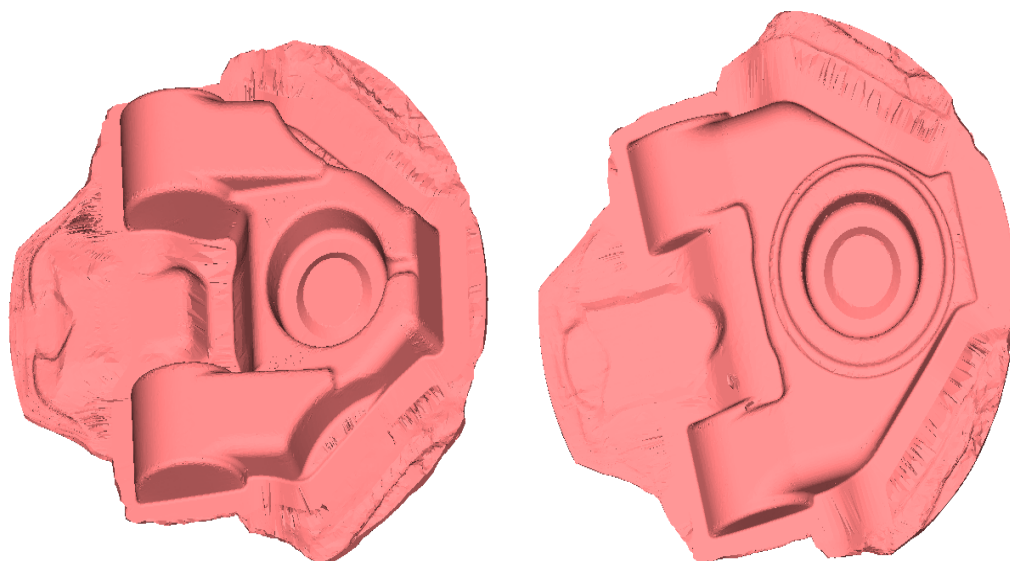
Obr. 24 Výskyt zákovků a přeložek

6. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

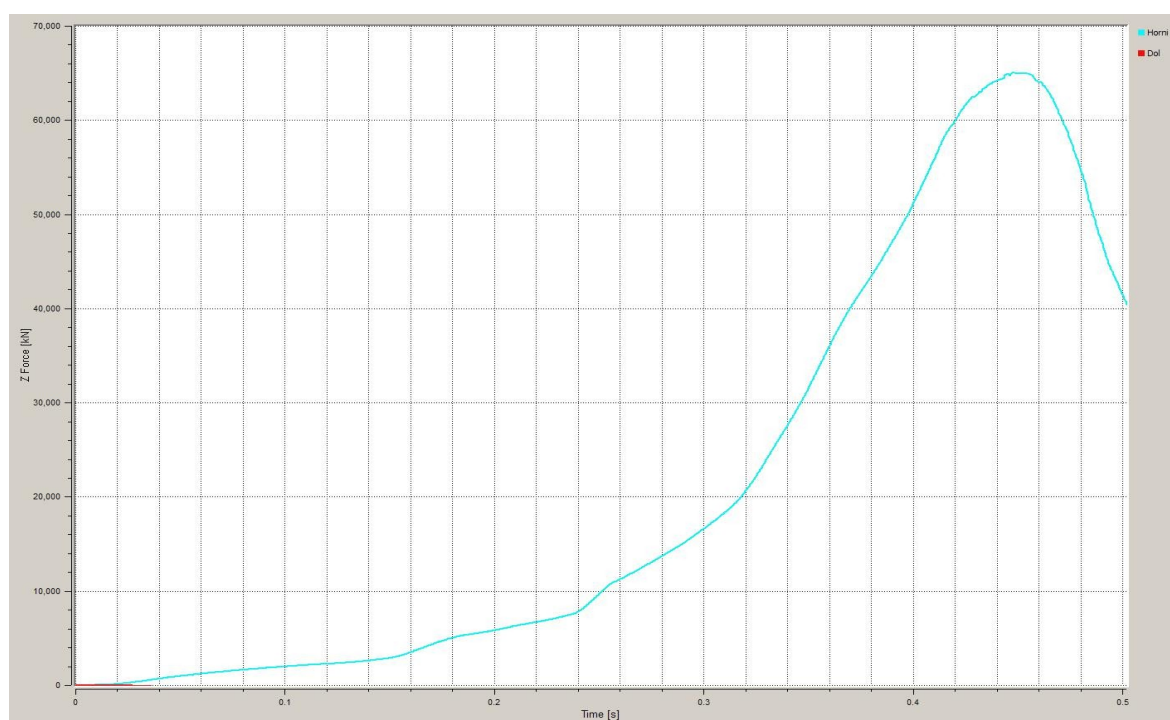
V této kapitole budou srovnány výsledky dosažené simulacemi zápustkového kování vidlice řízení s reálnými výkovky zpracovanými na mechanickém lise LZK 6300. Stroj je vybavený zařízením pro měření zatížení, tím lze porovnat síly kování s výslednými silami simulací. Síly vzniklé při samotném kování byly měřeny u desíti výkovků a byl vytvořen aritmetický průměr. Hodnoty lze porovnat také s výsledky s empirických matematických vzorců pro zjištění kovací síly. Po vykování vzorkové série byly také porovnány velikosti a tvary výronků u simulace a u samotného kovacího procesu. Tvar výronku dosažený simulací byl velice podobný reálnému výronku, lze tedy simulaci používat s dostatečnou přesností pro sledování tvorby výronku a případné zpomalení toku materiálu. Při porovnání reálného výkovku je zřejmé, že velikost dosažené kovací síly se liší řádově o 5000 – 10 000 kN od nasimulovaného modelu. U simulace docházelo výsledkově k vyšším kovacím silám vzhledem k reálnému procesu kování, což je příznivé z hlediska vlastního kování. Dané snížení reálné kovací síly je výsledkem vhodného použití maziva pro zápustky a dostatečným přehřátím polotovaru a správné frekvenci při kovacím procesu. Simulace odhalila nutnost přesnosti ustavení výkovku. Při nedodržení potřebné přesnosti ustavení polotovaru, materiál zcela nezatéká do dutin, což je patrné již ve II. operaci simulace kování a tento fakt byl pozorován i při samotném kování (viz obr. 27). Nutno tedy docílit co nejmenšího rozměru [s] (viz obr. 28) již v I. operaci kování, pomocí manipulátoru či kovářských kleští.

Tab. 17 Srovnání kovacích sil

	III. operace
Simulace	65 000[kN]
LZK 6300	55 000[kN]
Bjuchanov -Rebelskij	58 755,940[kN]

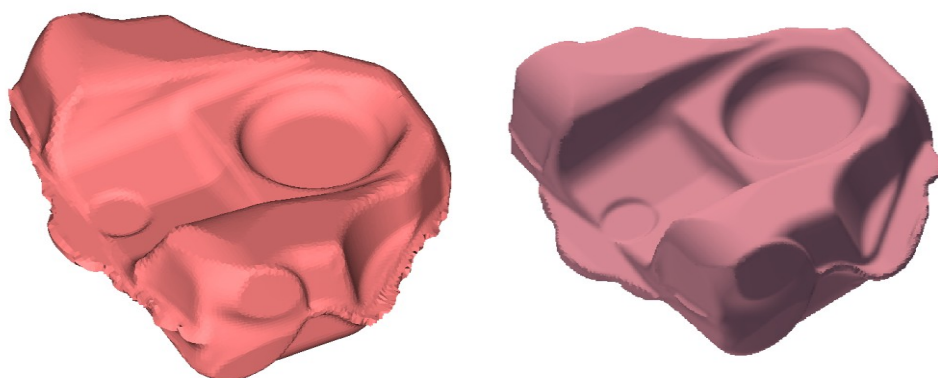


Obr. 25 Tvar a průběh výronku

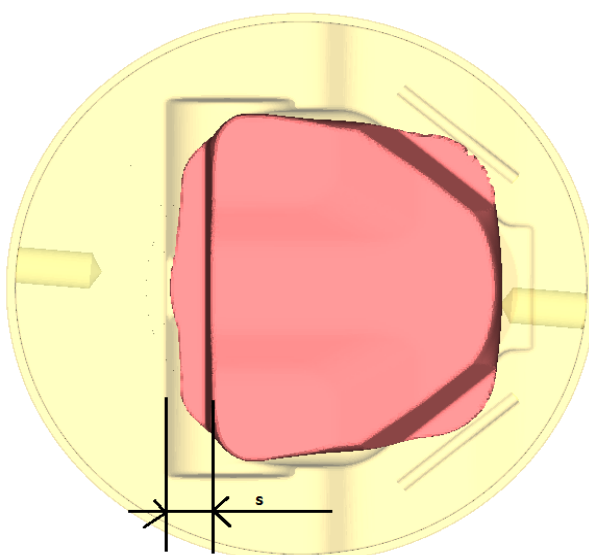


Obr. 26 Průběh sil u III. operace kování

Nejvyšší hodnota kovací síly při posledním úderu z grafu 65 000 [kN]



Obr. 27 Výsledky simulace II. operace, vlevo špatně ustavený výkovek vpravo správně



Obr. 28 Nutnost posouvání výkovku o rozměr s v I operaci

7. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ ZAVEDENÍ VIDLICE ŘÍZENÍ DO VÝROBY

V této kapitole budou jednoduše shrnuty náklady na výrobu součástí včetně ceny nástroje. Výsledkem musí být kladné hodnoty zisku tedy výdělek pro firmu či podnik, pokud by tomu tak nebylo, není důvod zavedení součásti do výroby. Toto hodnocení se provádí ještě před přijetím výrobku do výroby pro zjištění rentability výrobku. Výpočet se používá také pro návrh ceny zákaznickovy, ve většině případů se stanoví dvě ceny výroby vztažené například k technologii výroby.

Tab. 18 Vstupní hodnoty pro výpočet nákladů:

Počet kusů za rok:	n_{RV}	4000
Cena materiálu [Kč/kg]:	P_M	19,9
Polotovár [mm]:	Sochor 130 x 337	
Rozměr dodávaného polotovaru [mm] :	130 x 6000	

S polotovaru se vyrábí jeden výkovek ($n_{VP}=1$)

Počet přířezů z jedné tyče:

$$n_p = \frac{L_T}{L_P + L_{\check{R}}} [ks] \quad (7.1)$$

$$n_p = \frac{6000}{337 + 4}$$

$$n_p = 17,59 \cong 17 [ks]$$

L_T – délka jedné tyče [mm]

L_p – délka polotovaru [mm]

$L_{\check{R}}$ – šířka řezu [mm]

Počet tyčí pro celou sérii:

$$n_T = \frac{n_{rv}}{n_P + n_{vp}} [ks] \quad (7.2)$$

$$n_T = \frac{4000}{17 + 1}$$

$$n_T = 222 [ks]$$

Přímé náklady na materiál:

$$P_{MN} = n_T \cdot Q_T \cdot P_M [Kč] \quad (7.3)$$

$$P_{MN} = 222 \cdot 625 \cdot 16,9$$

$$P_{MN} = 2\,344\,875 [Kč]$$

Q_T – hmotnost jedné tyče [kg]

Náklady na materiál pro jeden kus výrobku:

$$P_{MNK} = \frac{Q_{SP} \cdot P_M}{n_{VP}} [Kč] \quad (7.4)$$

$$P_{MNK} = \frac{46 \cdot 16,9}{1}$$

$$P_{MNK} = 777,4 [Kč]$$

Q_{SP} – spotřební váha polotovaru (46 kg)

Stupeň využití materiálu:

$$k_M = \frac{Q_V \cdot n_{VP}}{Q_{SP}} [-] \quad (7.5)$$

$$k_M = \frac{33,8 \cdot 1}{46}$$

$$k_M = 0,734 = 73,4\% [-]$$

Q_V – čistá hmotnost výkovku (33,8) [kg]

Hmotnost a cena kovového odpadu:

$$Q_{ODP} = [Q_{SP} - (Q_V \cdot n_{VP})] \cdot \frac{n_{RV}}{n_{VP}} \text{ [kg]} \quad (7.6)$$

$$Q_{ODP} = [46 - (33.8 \cdot 1)] \cdot \frac{4000}{1}$$

$$Q_{ODP} = 48800 \text{ [kg]}$$

Cena výkupu železného šrotu se pohybuje 6,1 Kč. Výdělek s navrácení šrotu bude 297 680 Kč.

Cena výroby kovacíh nástrojů:

Do ceny zápustek jsou zahrnuty kompletní režijní náklady na materiál, výrobu obráběním, tepelné zpracování a mzdy.

Cena nářadí stanovena oddělením výroby zápustkových nástrojů ve firmě Taforge a.s. byla stanovena na 308 800 Kč. Životnost zápustek do nutné opravy byla stanovena na 2 750 ks. Cena opravy zápustek byla předběžně stanovena na 84 500 Kč

Podíl nářadí N_p na jednom kuse bude tedy:

$$N_p = \frac{c_o}{z_z} \text{ [Kč/ks]} \quad (7.7)$$

$$N_p = \frac{84\,500}{2\,750}$$

$$N_p = 30,727 \text{ [Kč/ks]}$$

Režijní náklady:

Na jeden kus byla stanovena cena 1005,424 Kč, jedná se o výrobní ceny, do které není zahrnuta firemní marže.

Tab. 19 Režijní náklady

Pracoviště	Mzdy	Režije	Celkem [Kč]
Dělení materiálu	6,016	12,206	18,22
Ohřev, kování, ostřih	29,66	110,303	139,963
Tepelné zpracování	6,669	40,044	46,713
Tryskání	2,239	3,163	5,403
Úprava	14,299	3,425	17,724
Celkem za kus (bez material)			228,024
Cena za kus vč. material (+ P_{MNK})			1005,424

Tab. 20 Celkové náklady

Náklady	Cena [Kč]
Náklady na materiál	2 344 875
Náklady na výrobu	4 021 696
Náklady na zápustky	308 800
Vratný šrot	-297 680
Výrobní náklady na sérii	6 377 691

Při vynásobení ceny kusu včetně materiálu s počtem kusů za rok vyšla částka 4 021 696 Kč. Očekávaná návratnost tedy nebude v prvním roce výroby, ale v průběhu druhého čtvrtletí následujícího roku. Ekonomickým zhodnocením se zjistila výrobní cena jednoho výkovku, stanovila se také cena kovacího nářadí. S dosaženými hodnotami lze určit celkové roční tržby podniku v závislosti na současné kalkulované marži na jeden výkovek. Dle obchodního oddělení byl výkovek dle dané velikosti série stanoven jako rentabilní. Výkovek nejen rentabilitou, ale také díky uspokojením zahraničního zákazníka a získání dalších zakázek na složité objemné výkovky. To je ekonomickým přínosem pro firmu Taforge a.s., která si tímto posiluje svou pozici kovářny zápustkových výkovků nejen pro zahraniční automobilový průmysl.

8. ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se zabýval návrhem a postupem výroby součásti vidlice řízení technologií zápusťkového kování. Při návrh jsem využil softwaru Simufact Forming na principu metody konečných prvků a konečných objemů. Hodnoty získané při simulacích byly využity pro konstrukční návrhy a úpravy daného výkovku.

Před samotným technologickým postupem byly stanoveny kovací síly pomocí empirického vzorce a matematické simulace. Výkovek vidlice byl zařazen na největší kovací lis LZK 6300 o jmenovité síle 63 MN, který je opatřen zařízením pro měření zatížení stroje. Díky tomu se při samotném kování ověřily správnosti výpočtů a lze pozorovat změny zatížení při konstrukčních či technologických změnách postupu výroby.

Při navrhování součásti došlo k několika konstrukčním problémům při kování součásti. Tento problém odhalila ještě před výrobou matematická simulace. Jednalo se nedotečení dutin výkovku, což bylo vyřešeno zvětšením rozměrů dutiny předchozí operace a tím zajištění dostatečného množství materiálu pro následující dutinu. Při zápusťkovém kování součásti bylo veliké nebezpečí tvorby přeložek a zákovků, což se předpovídalo z důvodu tvarové složitosti výkovku. Simulace také vykazovali v oblasti okolo výronkové drážky možnost tvorby vad. I přes konstrukční úpravy se při zkušební sérii tyto vady vyskytly. Zápusťky tedy museli být upraveny.

Simulace pomocí softwaru usnadnila samotný návrh daného výkovku a umožnila bez použití materiálu navrhnout správný průřez a ustavení polotovaru v I. operaci kování. Tato možnost významně zvyšuje produktivitu a snižuje náklady na výrobu součásti. Výsledky získané ze softwaru byly porovnány s experimentálními hodnotami (hodnoty dosažené při výrobě součásti) a bylo prokázáno, že i přes drobné odchylkami v některých výpočtech softwaru jej lze použít pro celý proces zápusťkového kování. A u větších sérií lze využít výpočtu opotřebení dutin zápusťek a tak možnost volby mechanicky či chemicky příznivějšího materiálu.

U simulací je však nutno přihlížet k výpočtovým časům, které například u takto objemné a složité součásti činili u některých metod bezmála 48 hodin a to pouze pro jednu operaci kování. Celkovou analýzu kovacího procesu pomocí softwaru, jaká je například v této diplomové práci lze tedy doporučit pro obdobné tvarově složité dílce, kde se i přes dodržení norem a využití zkušeností při konstrukci a návrhu technologie mohou vyskytovat jakékoliv problémy. Jednoduché rotační dílce lze navrhovat přímo a to bez větších konstrukčních problémů. Lze však využít symetrie součásti a simulovat pouze $\frac{1}{4}$ dílce což sníží výpočtový čas na přijatelnou hodnotu.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Stanislavu Ruzzovi, CSc., zaměstnancům firmy Taforge a.s. za poskytnutí informací a cenných rad. Poděkování patří také mým rodičům, za značnou podporu při celém studiu.

Seznam použité literatury

- [1] ALTAN, T. et al. Metal forming Fundamentals and Applications. ASM Series in Metal Processing, Metals Park, 1983. pp. 353. ISBN 978-0871701671.
- [2] BRJUCHANOV, A. N.; REBELSKIJ, A. V. Zápustkové kování, díl I. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. 248 s.
- [3] BRJUCHANOV, A. N.; REBELSKIJ, A. V. Zápustkové kování, díl II. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. 351 s.
- [4] HAŠEK, V. a kol. Kování. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 732 s.
- [5] HRUBÝ, J.; RUSZ, S.; ČADA, R. Strojírenské tváření. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2006, 2. vyd. 152 s. ISBN 80-248-1218-5.
- [6] KOBAYASHI, S. et al. Metal Forming and the Finite Element Method. USA: Oxford University Press, 1989. pp. 402. ISBN 0-19-504402-9.
- [7] SOMMER, B. Technologie kování. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1965. 200 s.
- [8] STOROŽEV, M. V. and POPOV, J. A. Teória tvárnenia kovov. Bratislava: ALFA, 1978. 488 s.
- [9] Simufact Forming, [on-line]. Dostupné z: http://www.simufact.de/en/solutions/sol_form.html
- [10] RUSZ, S.; ČADA, R. *Tváření*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006, 152 s. ISBN 80-248-0340-2.
- [11] HLUCHÝ, M. *Strojírenská technologie 2 - 1. díl: Polotovary a jejich technologičnost*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-718-3117-4.
- [12] FOREJT, M. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [13] LEINVEBER, J. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Brno: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.

- [14] POČTA, B. *Základy teorie tváření kovů*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1966. Teoretická knižnice inženýra. ISBN Teorie tváření kovu.
- [15] KOCMAN, K. *Aktuální příručka pro technický úsek: Svazek 8. Tváření*. Praha: Dashöfer, 2001, ISBN 80-902-2472-5.
- [16] ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové. Přídavky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha. Český normalizační institut, 08/1987.
- [17] KOTOUČ, J. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
- [18] ČADA, R. *Technologie I: část tváření a slévání : (návody do cvičení)*. 1. vyd. Ostrava: ČVUT Praha, 1998, 180 s. ISBN 80-707-8540-3.
- [19] ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lisy: Technické požadavky na konstrukci*. Praha. Český normalizační institut, 11/1990.
- [20] Přehled vlastností oceli S355J2. [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz>
- [21] PETRUŽELKA, L. *Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, 2000, [146] s. ISBN 80-707-8635-3.
- [22] PETRUŽELKA, J; HRUBÝ, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2000, [171] s. ISBN 80-707-8728-7.
- [23] PETRUŽELKA, J; HRUBÝ, J. *Strojírenské tváření I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Strojní fakulta, 2001, 148 s. ISBN 80-707-8878-X.

Seznam příloh

[A] Výkres součásti vidlice řízení

[B] Výkres sestavy jednotlivých zápustek